

SIMPLIFIER LA RÉNOVATION ET L'ADAPTATION DES CENTRES DE FORMATION AUX MÉTIERS DU BTP

Guide pratique pour accompagner
les décideurs des organismes de
formation et les directeurs de CFA

En partenariat avec



Avec la collaboration de



Sommaire

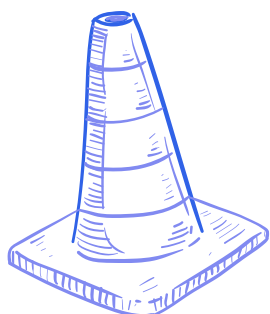
Préambule	5
Remerciements	6
Comment lire le guide	7

1

COMPRENDRE	8
Pourquoi rénover les centres de formation du CCCA-BTP ?	9
Pourquoi passer d'une logique purement énergétique à une approche globale de la rénovation ?	10
• Energie et exploitation • Emission de gaz à effet de serre et trajectoire climatique • Adaptation au changement climatique • Santé et confort des usagers • Ressources et résilience environnementale • Qualité d'usage et adaptabilité • Le rôle de l'architecte et objectifs • Coût global et soutenabilité	
Quelles sont les obligations réglementaires à connaître ?	12
• Décrets et dispositifs • Normes et obligations liées aux ERP (Établissements Recevant du Public) • RE2020	
Pourquoi la rénovation énergétique des centres de formation peut-elle être complexe ?	16
• Des typologies multiples dans un même site • Des contraintes de fonctionnement	

2

ANTICIPER	19
Quelles sont les grandes problématiques à prendre en considération ?	20
• Confort d'été et rénovation énergétique : l'intégrer dès la conception du projet • Qualité de l'air intérieur et inconfort acoustique • Consommations énergétiques non maîtrisées • Difficulté de définir une stratégie de rénovation • Être à l'écoute des occupants	
L'audit énergétique, socle de tout projet de rénovation : quels sont les points à vérifier pour qu'il soit réellement exploitable ?	25
• Avant l'audit : lancement de la mission • Pendant l'audit : la collecte des données et la visite sur site • Le rapport : outil décisionnel ou document inutilisable	



3

DECIDER - PARCOURS DE PROJET RENOVATION

Sécuriser les décisions : quelles sont les étapes à respecter pour réussir le projet de rénovation ?	30
• Les 6 étapes du parcours rénovation	
• La check-list Go/No-Go	31
Ingénierie financière : comment rendre la rénovation possible et soutenable ?	31
• Clarifier le cadre patrimonial et institutionnel	
• Poser le diagnostic financier de départ (Temps 1)	
• Construire un plan de financement par grandes familles de dépenses (Temps 2)	
• Mettre en cohérence financement, calendrier et phasage (Temps 3)	
• Préparer la décision de la gouvernance (Temps 4)	

4

AGIR - CHOISIR ET DIMENSIONNER LES LEVIERS LES PLUS PERTINENTS

Travail sur l'enveloppe	38
Optimiser les systèmes techniques	41
Vérification de performance	42
• Mesure de performance fin de travaux : méthode de mesure de performance de l'enveloppe	
• Mesure de performance : l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et réseaux de ventilation	
Suivre la performance	44
• Organisation : structurer l'exploitation	
• Maintenance : maintenir la cohérence du système dans le temps	
• Comportements : encadrer les usages pour éviter les dérives	
Bâtiments plus résilients et enjeux environnementaux	47
• Adaptation au changement climatique (au-delà du confort thermique)	
• Carbone : réduire l'impact sur l'ensemble du cycle de vie	
• Économie circulaire et gestion des déchets	
• Végétalisation des toitures et façades	
• Gestion intégrée des eaux pluviales (GIEP)	
• Gestion de l'eau - Maîtriser les consommations et les charges	
• Préservation et régénération de la biodiversité	
SYNTHESE	49
• De la stratégie à l'action	
• Mieux intégrer la pédagogie dans les espaces rénovés	52



SOLUTIONS TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET EXEMPLES DE RÉALISATION

53

Travail sur l'enveloppe 54

- Isolation de l'enveloppe
- Parois vitrées et ouvrants
- Protections solaires et automatisation

Optimiser les systèmes techniques 59

- Production de chaud et de froid
- Emission et distribution
- Distribution et réseau hydraulique
- Eau Chaude Sanitaire (ECS)
- Ventilation
- Eclairage
- Pilotage et régulation
- Production d'énergie renouvelable



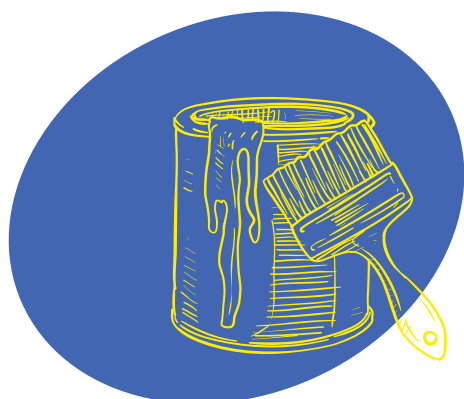
POUR ALLER PLUS LOIN DANS LA DEMARCHE : RESSOURCES COMPLÉMENTAIRES ET POINTS TECHNIQUES DÉTAILLÉS

69

- Description détaillées des 6 étapes GO/NO-GO du projet (E0 → E5) 70
- Pour aller plus loin sur l'ingénierie financière 82
- En savoir plus sur les points de vigilance techniques en rénovation de centres de formation BTP 85
- Les détails pour adapter les solutions selon les zones territoriales de l'OF..... 90
- Critères d'arbitrage et préconisations techniques pour des bâtiments plus résilients 92

Bibliographie

99



Version : septembre 2026

Crédits photos et illustrations :

- Illustrations : Eva Moreira et Cercle Promodul
- Photos sans crédit précisé : appartiennent à Cercle Promodul, réalisées sur les différents sites visités
- Photos pages : libres de droit

Préambule

Les centres de formation aux métiers du BTP, laboratoires du bâtiment de demain

Depuis plusieurs années, je visite les centres de formation aux métiers du BTP à travers la France. Et à chaque fois, la même question me traverse : comment pouvons-nous demander aux apprenants du BTP de devenir les artisans de la transition énergétique et environnementale, s'ils apprennent leur métier dans des bâtiments qui n'en portent pas eux-mêmes la marque ?

Le climat change, nous le savons tous. Les vagues de chaleur se multiplient et s'intensifient, les hivers imposent des tensions énergétiques nouvelles, et les exigences de confort, de santé et de sobriété ne cessent de croître. Face à cela, je refuse que nos centres de formation restent en retrait. Je veux qu'ils soient à l'avant-garde.

Car ces établissements ne sont pas des bâtiments comme les autres. Ce sont des lieux où se forment, chaque jour, celles et ceux qui construiront, rénoveront et adapteront le bâti de demain. Nous leur devons l'exemple. C'est une question de cohérence, et c'est aussi, je crois profondément, une question de responsabilité.

C'est le sens que je veux donner à ce guide : faire de chaque projet de rénovation bien plus qu'une mise en conformité réglementaire. Ces établissements doivent devenir de véritables démonstrateurs, où l'enveloppe du bâtiment, ses systèmes techniques, sa gestion de l'eau, sa végétalisation et ses matériaux à l'empreinte environnementale réduite, se transforment en supports pédagogiques vivants. Un centre rénové intelligemment n'offre pas seulement un meilleur confort d'été ou une facture allégée l'hiver : il devient un cas d'école, que les formateurs peuvent montrer, expliquer, faire toucher du doigt à leurs apprenants.

Je sais que cette ambition ne se décrète pas, elle se construit. C'est pourquoi j'ai voulu que ce guide, qui s'inscrit dans notre dynamique CFA de demain, vous accompagne concrètement : comprendre les enjeux d'une rénovation globale et non plus seulement énergétique, anticiper les difficultés propres à nos typologies de bâtiments souvent complexes, sécuriser chaque étape de la décision et du financement, puis agir en choisissant les leviers techniques les plus pertinents.

Dirigeants d'organismes de formation, directeurs d'établissement, je sais l'ampleur de la tâche qui vous incombe, et je mesure les contraintes budgétaires et organisationnelles qui sont les vôtres. Mais je suis convaincu que chaque projet que vous engagerez, chaque décision que vous prendrez pour adapter vos locaux au confort d'été comme aux rigueurs de l'hiver, fera de ces centres de formation, aux métiers du BTP, les vitrines d'un bâtiment durable, sobre et résilient. Nos apprenants d'aujourd'hui bâtiront la France de 2050.

Donnons-leur, dès aujourd'hui, l'exemple à suivre.



Franck Le Nuellec

Directeur du marketing, du développement et de l'innovation stratégique du CCCA-BTP

Remerciements

Ce guide pratique est le fruit d'une démarche collective, et nous tenons à exprimer nos remerciements à tous ceux qui ont contribué à son élaboration.

Remerciements au CCCA-BTP, qui nous a confié la mission d'aborder ce sujet essentiel qu'est la rénovation énergétique des centres de formation. Sa confiance témoigne de son engagement en faveur de l'amélioration de ces infrastructures. Grâce à son soutien, nous avons pu mener une réflexion approfondie et développer des recommandations adaptées au besoin des directeurs de centre, dans un souci d'optimisation du confort thermique et du bien-être des usagers et bien entendu de réponse aux objectifs environnementaux. Remerciements appuyés notamment à Ludovick LEFEBVRE, Franck LE NUELLEC et Isabelle JOUANIN PERIN,

Remerciements aux directeurs des centres de formation et leurs équipes, qui nous ont ouvert leurs portes et consacré de leur temps lors de nos visites de terrain. Leurs retours concrets, leur connaissance des réalités du quotidien et leur engagement pour l'amélioration de leurs établissements ont nourri en profondeur le contenu de ce guide.

- BTP CFA Auvergne-Rhône-Alpes : Gilles VIALATTE
 - * BTP CFA Bourgoin-Jallieu : Eric BLANC
- BTP CFA Grand-Est (Direction Générale) : Jean-Michel CHRISTE et Arnaud GOUILLY-FORTIN
- BTP CFA Ile-de-France (Direction Générale) : David FABRE
 - * BTP CFA Saint-Denis : Mathieu PON
 - * BTP CFA Ermont : Emmanuel MAHIETTE
- BTP CFA Occitanie (Direction Générale) : Gilles RAZAT et Pascal BOTTIER
 - * BTP CFA Montpellier : Samia BRU et Nathalie BENSADON
- BTP CFA Blois : Christophe DELMUR
- Le Campus de l'Alternance (site de Grenoble) : Damien BRUNON et Eric LAKHAL

Remerciements à l'ensemble des membres des groupes de travail et des différents partenaires de Cercle Promodul et d'Alliance HQE-GBC, qui ont apporté leur expertise et partagé leurs retours d'expériences. Leurs contributions ont été déterminantes pour ancrer ce guide dans la réalité opérationnelle des projets de rénovation.

- | | |
|--|--|
| • Matthieu ARLOT - Soprema / Sopranature | • Thierry MOUGE - Logiciels Perrenoud |
| • Charles ARQUIN - Pouget Consultants | • Aymeric PERONNAU-NYSENS - Velux |
| • Sandra BATHIER - Mermet | • Romain PIERRON - Saint-Gobain Weber |
| • Guy BARET - Edilians | • Dominique RIQUIER SAUVAGE - Architecte |
| • Caroline BOUTELOUP - CSTB | • Gérard SENIOR - UNSFA |
| • Alexis DAMIA - Somfy | • Emmanuel TOFFOLO - Promotelec Services |
| • Charly DE LAAGE - Saint-Gobain Solutions France | • Nicolas VANDERMEERSCH - Certivea |
| • Cynthia DEROUX - Cerqual | |
| • Antoine DESBARRIERES - Cerqual | |
| • Emilie DOMANGE - Edilians | |
| • Faycal EL FGAIER - Unilin Insulation | |
| • Arnaud GABILLAT - Pouget Consultants | |
| • Laurent GUEDON - Saint-Gobain Solutions France | |
| • Jérémie GUILLIOT - Nobatek | |
| • Elena KONOPLEVA - Mermet | |
| • Xavier LAVERGNE - Mermet | |
| • Matthieu LECHANTRE - Soprema | |
| • Jean-François LEBAILLY - Bimeo | |
| • Eric LEROGNON - Bimeo | |
| • Marie-Christine LLORCA - AGO Formation | |
| • Jérôme LOPEZ - Nobatek | |
| • Sylvie MERCIER - Unilin Insulation | |
| • Jean-Philippe MONLOUIS BONNAIRE - Wienerberger / Terreal | |

Equipe rédactionnelle du guide :

- Jean-Luc BUCHOU - Cercle Promodul
- Rachel CHERMAIN - Alliance HQE-GBC
- Emeline DALGÉ - Cercle Promodul
- Maher KAZAN - Cercle Promodul
- Gwenn LE SEAC'H - Alliance HQE-GBC

Conception graphique et illustrations : Eva Moreira - evamoreira.com

Comment lire le guide ?

Ce guide constitue un outil pratique destiné à accompagner les organismes de formation dans l'élaboration et la mise en œuvre de leurs projets de rénovation. Structuré en cinq sections thématiques et un volet transversal de ressources, il s'adresse à des profils variés : directeurs de centres de formation, responsables de patrimoine, équipes techniques, et porteurs de projet. Chaque section répond à un stade du projet et à des objectifs spécifiques. Le guide peut être consulté de manière sélective, en réponse à des interrogations ponctuelles, ou suivi dans sa globalité comme fil conducteur sur l'ensemble du parcours de rénovation.

Les 6 sections du guide

COMPRENDRE : les enjeux et obligations de votre établissement

Cette section expose les raisons qui rendent la rénovation énergétique des centres de formation nécessaire, les principales obligations réglementaires applicables, et les spécificités des CFA susceptibles de complexifier ces projets comparés à d'autres bâtiments tertiaires.

ANTICIPER : la préparation et fiabilisation de votre démarche

Cette section identifie les difficultés récurrentes des projets de rénovation, expose les points de vigilance à intégrer en amont, et établit les critères permettant d'évaluer la qualité d'un audit énergétique.

DECIDER : l'arbitrage et la sécurisation de vos choix

Cette section propose un parcours de projet structuré, des outils d'aide à la décision, une méthode de validation progressive des étapes, et des repères pour construire une stratégie financière soutenable.

AGIR : la mise en œuvre opérationnelle

Cette section propose un parcours de projet structuré, des outils d'aide à la décision, une méthode de validation progressive des étapes, et des repères pour construire une stratégie financière soutenable.

SOLUTIONS TECHNIQUES DETAILLÉES : l'approfondissement et la concrétisation

Cette section approfondit les leviers techniques abordés dans le guide et fournit des éléments complémentaires pour éclairer les choix de conception, de dimensionnement et d'exploitation. Elle intègre des mises en situation et des exemples concrets.

RESSOURCES COMPLEMENTAIRES

Pour aller plus loin dans la démarche rassemble des ressources documentaires, des développements méthodologiques et des approfondissements techniques destinés aux lecteurs qui souhaitent explorer en détail certains thèmes du guide, en fonction de leurs besoins spécifiques.

Parcours de lecture recommandés

Vous êtes en phase de diagnostic ou de sensibilisation

Comprendre → Anticiper → Ressources complémentaires

Vous êtes en phase opérationnelle

Décider → Agir → Solutions techniques détaillées
→ Ressources complémentaires

Vous préparez un projet de rénovation

Comprendre → Anticiper → Décider → Solutions techniques détaillées

Vous recherchez des solutions techniques à un enjeu spécifique

Accès direct : Solutions techniques détaillées (complété selon les besoins par les sections Comprendre, Anticiper ou Agir)

Ce guide ne prétend pas à l'exhaustivité. Conçu pour accompagner la diversité des situations rencontrées par les organismes de formation, il propose un cadre de réflexion et d'action adapté aux spécificités de chaque établissement. Les éléments présentés, fondés sur des retours d'expérience et des données actualisées, demeurent modulables en fonction de chaque contexte régional, réglementaire et patrimonial. L'objectif est de permettre aux acteurs de la formation de progresser de la compréhension des enjeux à la décision, puis à l'action, en disposant à chaque étape des informations et des outils requis pour sécuriser leur démarche et en optimiser les résultats

1.

COMPRENDRE



Pourquoi la rénovation des CFA est une priorité stratégique pour le CCCA-BTP et pour le secteur, en lien avec les enjeux climatiques, économiques et sociaux.



Pourquoi rénover énergétiquement les centres de formation du CCCA-BTP ?

La rénovation des centres de formation du CCCA-BTP s'inscrit dans un contexte marqué par l'**urgence énergétique et climatique**.

Les bâtiments d'enseignement, comme l'ensemble du parc tertiaire, sont directement concernés par les politiques publiques visant à réduire leurs consommations énergétiques, **limiter leurs émissions carbone et s'adapter au réchauffement climatique**.

Cet environnement réglementaire et économique rend indispensable une anticipation structurée des investissements à venir.

Les établissements à vocation éducative ont un **rôle d'exemplarité** à jouer. Dans ce contexte, le projet porté par le CCCA-BTP répond à un double objectif : en plus de l'amélioration de la performance énergétique et du confort des établissements, il s'agit de montrer que les lieux de formation peuvent devenir des **lieux pédagogiques démonstrateurs de la transition écologique**.

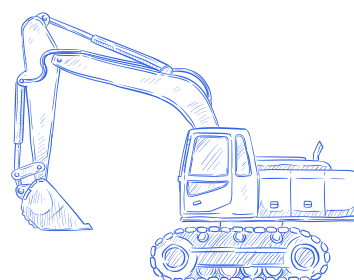
Cette exemplarité constitue un levier stratégique pour la filière. Les CFA occupent une place particulière : au-delà de leur fonction d'accueil, ils sont des lieux d'apprentissage et de transmission des savoir-faire du bâtiment.

À ce titre, rénover les centres permet d'aligner les discours de la filière avec des réalisations concrètes et visibles, **renforçant ainsi la crédibilité des engagements portés collectivement**.

Le CCCA-BTP affirme une ambition claire : valoriser les centres comme lieux d'apprentissage exemplaires, ouverts à l'expérimentation, à l'innovation et à la pédagogie active permettra de **former les futurs professionnels dans des environnements qui incarnent concrètement les pratiques durables qu'ils devront déployer demain sur les chantiers**.

Grâce à l'implication de centres régionaux pilotes, ces rénovations seront de véritables démonstrateurs contribuant au **développement de l'attractivité des formations du BTP auprès de la jeunesse**, des territoires et permettront l'adoption de pratiques adaptées aux défis climatiques.

Cette dynamique collective renforce l'ancrage local et la dimension collective de la démarche, tout en participant à **renforcer l'image et l'attractivité des filières du BTP**.



Pourquoi passer d'une logique purement énergétique à une approche globale de la rénovation ?

Un projet de rénovation ne se résume pas à un gain en kWh, à une baisse de facture ou à la remise aux normes de sécurité. La performance globale d'un centre de formation repose sur un équilibre entre plusieurs dimensions indissociables. Négliger l'une d'elles fragilise l'ensemble.

Énergie et exploitation

Réduire les consommations reste un objectif structurant. Mais la performance énergétique doit être évaluée en lien avec la simplicité d'exploitation, la maintenance, la robustesse des systèmes et la capacité réelle des équipes à piloter le bâtiment.

Sur ces sujets, trois leviers d'action : sobriété, efficacité et flexibilité énergétique.

- Sobriété énergétique (éviter de consommer) : dimensionnelle, d'usage, mutualisation. Utiliser au mieux les équipements pour réduire la consommation. Exemple : éteindre l'éclairage ou piloter les équipements, ...
- Efficacité énergétique (consommer moins) : réduire la quantité d'énergie nécessaire à la satisfaction d'un besoin. Exemple : renforcement d'isolation, changement d'équipements.
- Flexibilité énergétique (consommer mieux) : modulation de puissance ou encouragement à consommer sur une plage horaire (heures pleines/heures creuses).

La méthodologie à privilégier est :

- Revue de parc (le cas échéant) + Installation de capteurs
- Audit de bâtiments (échantillonnages)
- Plan d'actions
- Engagement des occupants
- Suivi régulier et pilotage plan actions

Par rapport au respect du DEET, les contraintes patrimoniales, techniques ou financières peuvent être prises en compte dans un dossier technique de modulation.

Emissions de gaz à effet de serre et trajectoire climatique

Le poids carbone des matériaux, des équipements et des travaux est immédiat. Les économies d'énergie sont différées suivant les travaux effectués. Une décision éclairée suppose donc une analyse du cycle de vie (ACV) permettant de comparer les scénarios et d'éviter des solutions énergétiquement performantes mais défavorables pour les émissions de gaz à effet de serre. Le carbone devient un critère d'arbitrage, au même niveau que le coût global.

La Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) fixe l'équilibre à horizon 2050 entre les émissions de gaz à effet de serre et celles absorbées (puits de carbone = océans, flore, ...).

La réduction de la consommation énergétique alliée à un recours limité aux énergies fossiles permet déjà de réduire significativement l'empreinte carbone. Vient ensuite l'utilisation de matériaux « bas carbone » en privilégiant l'économie circulaire et la règle du « bon matériau au bon endroit en bonne quantité ».

Adaptation au changement climatique

Un projet de rénovation ne se limite pas à améliorer l'existant. Il doit anticiper des conditions climatiques différentes de celles pour lesquelles le bâtiment a été conçu. Ne pas intégrer l'adaptation conduit à des investissements rapidement obsolètes ou inefficaces. Les centres de formation sont directement exposés à des évolutions déjà perceptibles :

- augmentation des épisodes de chaleur et allongement des périodes estivales ;
- intensification des pluies et gestion plus complexe des eaux pluviales ;
- tension sur la ressource en eau ;
- évolution des conditions de vent, d'humidité et d'ensoleillement.

Ces évolutions ont des impacts concrets :

- inconfort thermique, baisse de concentration, interruption d'activités pédagogiques en période de canicule ;
- dégradation plus rapide des matériaux et des équipements ;
- surcharge ou dysfonctionnement des systèmes techniques.

Intégrer l'adaptation consiste à prendre en compte les évolutions climatiques à venir afin de prévenir leurs impacts qui ne sont pas encore trop visibles aujourd'hui, et notamment de :

- privilégier des solutions passives avant les solutions actives ;
- concevoir des bâtiments robustes, capables de fonctionner en mode dégradé ;
- anticiper la gestion de l'eau (infiltration, stockage, réutilisation) ;
- éviter les dépendances fortes à des systèmes sensibles (refroidissement intensif, automatisation complexe).

Santé et confort des usagers

Confort thermique, qualité de l'air intérieur, confort acoustique et visuel conditionnent directement la qualité pédagogique, l'absentéisme et l'attractivité de l'OF. Une rénovation qui améliore les indicateurs réglementaires sans traiter les surchauffes, le bruit ou la QAI ne répond pas à l'objectif stratégique. Le projet de rénovation doit considérer, pour le confort thermique, les évolutions météorologiques futures (adaptation au changement climatique) : climats 2050, ...

Ressources et résilience environnementale

La gestion de l'eau, l'intégration de la biodiversité, la sobriété matière et le recours au réemploi participent à la robustesse du site dans un contexte de tensions croissantes sur les ressources. Ces dimensions renforcent également la cohérence pédagogique pour des formations aux métiers du BTP.

Qualité d'usage et adaptabilité

Accessibilité, ergonomie, modularité des espaces, capacité d'évolution des locaux : ces éléments déterminent la pérennité de l'investissement. Un bâtiment adaptable limite les travaux futurs et donc les émissions et coûts associés.

Rôle de l'architecte et objectifs

La réalisation d'un projet doit répondre à des objectifs et à des contraintes de tous ordres : techniques, fonctionnels, économiques, technologiques, culturels, sociaux, environnementaux, urbanistiques et esthétiques. En outre, la réalisation ou la réhabilitation d'un équipement tel un CFA s'inscrit dans un cadre réglementaire et normatif varié et complexe. Le rôle de l'architecte est de satisfaire au mieux ces objectifs en s'adjoignant les compétences de Bureaux d'Études Techniques spécifiques en fonction de la nature des projets à réaliser.

Pour concevoir un bâtiment ou le réhabiliter voire le restructurer, l'architecte doit mettre en action une vision globale, en vue de satisfaire à tous les éléments du programme et procéder constamment à des choix, et même, en concertation avec le maître d'ouvrage, arbitrer entre les solutions de réponse aux éléments du programme.

Le travail de l'architecte doit être constamment mené sur la base de réflexions et d'études portant sur ces objectifs. Il fait un travail de synthèse assurant la direction du projet, à ce titre, il doit être le mandataire du groupement.

Dans les projets complexes de rénovation-restructuration, ce travail de synthèse est généralement porté par l'architecte, qui assure alors la direction du projet en tant que mandataire du groupement de maîtrise d'œuvre.

Coût global et soutenabilité financière

Le raisonnement doit porter sur 20 à 30 ans : investissement initial, économies d'exploitation, maintenance, renouvellement des équipements. Un arbitrage multicritère met en regard performance environnementale et soutenabilité budgétaire. Le raisonnement doit intégrer les coûts évités liés aux risques climatiques : inconfort, maintenance accrue, équipements surdimensionnés ou rapidement obsolètes. L'adaptation permet de sécuriser l'investissement dans la durée.

Quelles sont les obligations réglementaires à connaître ?

Avant d'engager un projet de rénovation, il est nécessaire de vérifier et de clarifier les réglementations applicables. Toutes les obligations ne s'appliquent pas à tous les bâtiments : les seuils de surface, de puissance installée ou d'effectif accueilli déterminent le niveau d'exigence.

Même hors périmètre obligatoire, tout CFA devrait formaliser une trajectoire énergétique et environnementale à horizon 2050, avec des jalons intermédiaires. En effet, se contenter de respecter les obligations réglementaires (fixant des seuils minimaux) ne permet pas d'anticiper les prochaines évolutions à venir, voire même de rapidement les subir. Engager une démarche volontaire constitue un levier de maîtrise des charges mais aussi d'attractivité et de crédibilité pédagogique.

Décret et dispositifs

Le dispositif « Éco-Énergie Tertiaire » (EET) également appelé Décret Tertiaire, impose aux bâtiments du secteur tertiaire une réduction progressive de leur consommation d'énergie finale.

Cette obligation de résultat (non de moyen), ancrée dans la loi ELAN, impose des objectifs ambitieux : réduire leur consommation de 40% d'ici 2030, 50% d'ici 2040 et 60% d'ici 2050.

Sont concernés l'ensemble des bâtiments occupés à usage tertiaire d'une surface cumulée de plus de 1 000 m². D'après le CEREN, plus de 90% des surfaces des bâtiments d'enseignement sont concernées par Eco Énergie Tertiaire, ce qui en fait le troisième secteur d'activités tertiaires, après les bureaux et les commerces, concerné par l'obligation avec plus de 205 millions de mètres carrés. (CEREN : Les surfaces éligibles au décret tertiaire - Décembre 2023)

Dans le cadre de cette ambition de réduction des consommations d'énergie, les propriétaires et preneurs à bail sont tenus, depuis 2022 de déclarer chaque année les consommations d'énergie des locaux tertiaires assujettis sur l'Observatoire de la Performance Énergétique de la Rénovation et des Actions du secteur Tertiaire (OPERAT).

Ce dispositif est une incitation forte à planifier dès aujourd'hui des actions de performance énergétique et de sobriété.

Le décret BACS (obligation de moyen et non de résultat), impose l'installation de systèmes d'automatisation et de contrôle dans les bâtiments tertiaires, en vue d'optimiser leur performance énergétique.

Les BACS (Building Automation and Control System) sont des systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments. Il s'agit d'un ensemble de technologies comprenant des produits, des logiciels et des services d'ingénierie permettant de piloter et de suivre les équipements d'un bâtiment : chauffage, climatisation, éclairage, ventilation, production d'eau chaude sanitaire, protections solaires, charge des véhicules, etc.

Sont concernés par le Décret BACS les bâtiments équipés d'un système de chauffage ou de climatisation dont la puissance nominale utile est supérieure à 290 kW. Pour ceux (bâtiments existants) dont la puissance nominale est supérieure à 70 kW, l'obligation est à échéance au 1er janvier 2030. (source : Guide d'application du décret BACS, RT-RE bâtiment).

En complément de la mise en place des systèmes BACS, un réel enjeu consiste en la bonne utilisation dans le temps de ces systèmes. La formation des équipes et les ressources à allouer ne doivent pas être négligées.

Selon l'Observatoire national du BACS du GIMELEC, seuls 14% des sites d'enseignement sont équipés d'un BACS en 2025.



Normes et obligations liées aux ERP (Établissements Recevant du Public)

Les Centres de Formation d'Apprentis (CFA), en tant qu'établissements d'enseignement professionnel, sont juridiquement classés comme Établissements Recevant du Public (ERP) de type R. À ce titre, toute opération de rénovation ou de transformation doit répondre aux exigences réglementaires applicables aux ERP, en matière de sécurité, d'accessibilité, de ventilation, et de confort. Ces obligations visent à garantir la sécurité des usagers, leur accessibilité aux locaux, et un environnement intérieur sain et conforme.

La réglementation prévoit que toute rénovation significative d'un ERP doit être l'occasion de remettre le bâtiment en conformité avec ces exigences, en fonction de la nature des travaux, de leur ampleur, et des contraintes techniques. Les CFA n'y échappent pas et doivent notamment porter une attention particulière aux points suivants.



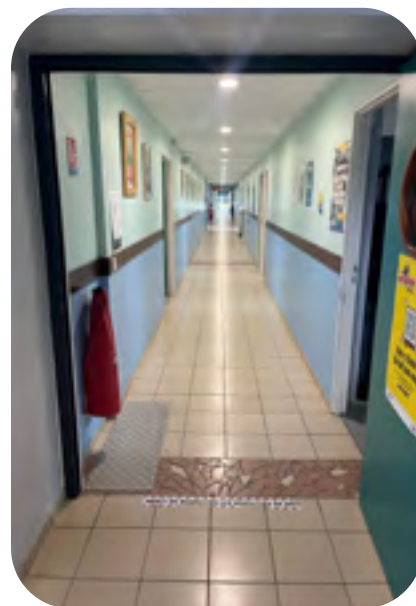
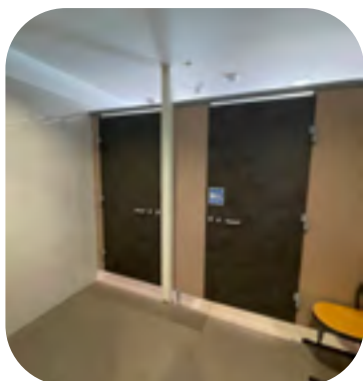
SÉCURITÉ INCENDIE

Dans le cadre de la rénovation d'un ERP, la sécurité incendie constitue une priorité absolue. Les installations techniques peuvent représenter un vecteur de propagation du feu et des fumées s'ils ne sont pas convenablement compartimentés et protégés.

Les réseaux de ventilation doivent respecter les parois coupe-feu traversées (compartimentage). Ils doivent être facilement accessibles pour maintenance, et réalisés avec des matériaux non inflammables. Les gaines et faux plafonds doivent respecter les bonnes classes de réaction au feu. Leurs conduits doivent être équipés de clapets coupe-feu aux traversées de zones compartimentées. L'installation doit permettre une coupure automatique de la CTA en cas d'incendie. Ces exigences sont vérifiées lors des passages en commission de sécurité.

Les règles techniques exigent également les points suivants :

- Façade permettant l'évacuation du public et l'accès des pompiers ;
- Matériaux de construction et d'aménagement intérieur résistant au feu ;
- Distribution intérieure et compartimentage pour limiter la propagation du feu et des fumées ;
- Éclairage de sécurité obligatoire (antipanique et balisage des issues) et maintien de la visibilité en cas de coupure de courant.



ACCESSIBILITÉ PMR (PERSONNES À MOBILITÉ RÉDUITE)

La loi du 11 février 2005 impose l'accessibilité généralisée des ERP à toutes les formes de handicap. Dans le cas d'une rénovation, les CFA doivent intégrer des aménagements destinés à rendre les locaux accessibles aux personnes à mobilité réduite, autant que possible.

Cette obligation inclut notamment :

- La mise en conformité des cheminements intérieurs et extérieurs (pentes, ressauts, largeur) ;
- L'aménagement de sanitaires adaptés, accessibles en fauteuil roulant ;
- L'adaptation des postes de travail et des salles de cours (espaces de manœuvre, signalétique) ;
- L'installation éventuelle d'un ascenseur dans les bâtiments à plusieurs niveaux ;
- Une attestation de conformité à l'accessibilité doit être fournie en fin de travaux. Des dérogations peuvent être sollicitées en cas de contraintes techniques, patrimoniales ou financières majeures, mais doivent être justifiées et validées par la préfecture et la commission départementale d'accessibilité (CDAPH).



VENTILATION ET QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR (QAI)

La qualité de l'air intérieur est devenue une exigence réglementaire majeure dans les établissements recevant du public, en particulier dans les lieux d'enseignement comme les CFA. Depuis 2023, les obligations de surveillance de la QAI ont été renforcées. Lors de travaux de rénovation affectant les systèmes de ventilation ou les matériaux intérieurs, les CFA doivent appliquer les points suivants :

Réaliser une évaluation annuelle des moyens d'aération, incluant une mesure ponctuelle du taux de CO₂ ;

- Effectuer un autodiagnostic complet de la QAI tous les quatre ans, incluant l'analyse des sources de pollution, et l'entretien des systèmes de ventilation ;
- Mettre en œuvre une campagne de mesures des polluants (formaldéhyde, benzène, CO₂) après des travaux significatifs.

Il est à noter qu'aucune obligation réglementaire n'impose l'installation d'une CTA, mais le renouvellement de l'air doit être suffisant pour garantir le bien-être des usagers. Le recours à des capteurs CO₂ devient donc incontournable pour prouver la conformité.



ÉCLAIRAGE NATUREL

En rénovation d'un OF (ERP de type R - établissements d'enseignement), les articles de loi ne mentionnent pas d'obligation concernant l'accès à la lumière naturelle.

Cependant, les articles 4213-2 du Code du travail (pour les espaces de travail ou formation) exigent dès lors qu'il y a une modification importante des bâtiments, que « les locaux destinés à être affectés au travail [soient] conçus et disposés de telle sorte que la lumière naturelle puisse être utilisée pour l'éclairage des locaux destinés à être affectés au travail, sauf dans les cas où la nature technique des activités s'y oppose ».

Les articles R 4223, destinés à l'employeur, indique que « l'éclairage naturel doit être suffisant autant que possible ».

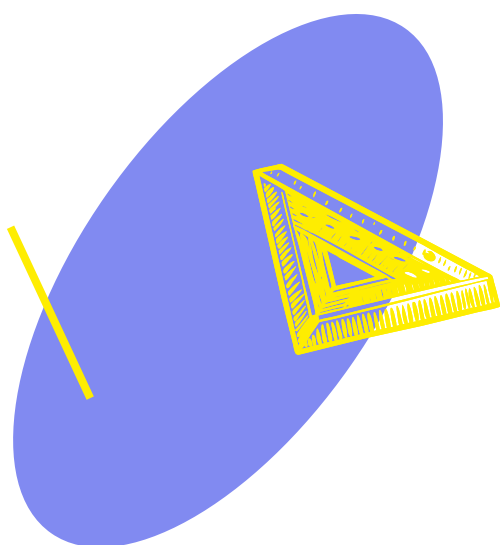
C'est davantage une obligation de principe et de bonne pratique que contraignante.

RE2020

La RE2020 s'applique aux permis de construire et aux déclarations préalables de travaux déposés à partir du 1er juillet 2022 (bureaux, enseignement primaire ou secondaire) pour toute extension de bâtiment dont la surface de plancher créée est supérieure à 150 m² et représentant plus de 30% de la surface de plancher existante.

Lorsqu'une extension est soumise à la RE2020, elle doit respecter les trois axes réglementaires de cette norme. Concernant la performance énergétique, l'impact carbone de construction, et la limitation de l'inconfort d'été.

Les extensions de moins de 150 m² ou représentant moins de 30% de la surface existante ne sont pas soumises à la RE2020 mais restent soumises à la réglementation thermique existante, dite RT Existant par élément.

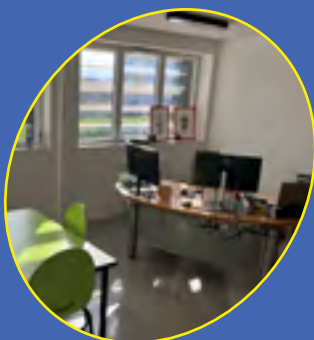


Pourquoi la rénovation énergétique des centres de formation peut-elle être complexe ?

Des typologies multiples dans un même site

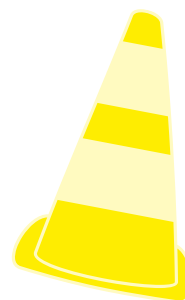
Un CFA est rarement un bâtiment unique mono-activité : il s'agit presque toujours d'un campus multi-usage où coexistent des locaux aux besoins énergétiques très différents.

Cela complexifie les projets de rénovation.



Bureaux administratifs

Espaces de type tertiaire, avec occupation régulière et charges internes modérées (ordinateurs, imprimantes, éclairage).



Salles de formation générale

Comparable aux salles de classe des lycées, elles accueillent entre 20 et 30 élèves par salle.



Internats

Comparable à la consommation énergétique de petits logements ou studio.



Restauration, espaces collectifs

Les cuisines professionnelles sont des espaces très énergivores, avec des taux de renouvellement souvent supérieurs à 100 vol/h. Le poste ventilation qui est généralement estimé à 30% des consommations d'énergie est donc la première source de réduction des coûts de fonctionnement d'une cuisine.

Ces locaux sont particulièrement inconfortables lors des périodes de surchauffe estivales et une forte consommation d'ECS.



Ateliers techniques (bâtiments énergivores)

Les ateliers sont souvent les zones les plus énergivores et inconfortables des CFA. Ils contiennent des machines électriques puissantes ayant des consommations énergétiques importantes et producteurs de chaleur fatale, bruit, poussières...

Ce sont également de grands volumes difficiles à chauffer ou rafraîchir, avec des conditions de confort souvent dégradées, il est difficile de viser un confort identique aux salles de cours classiques.



Des contraintes de fonctionnement

Les CFA présentent des contraintes particulières, qui rendent les chantiers complexes par rapport à une école ou un bureau classique.





Activité continue

Un CFA fonctionne toute l'année, avec alternance de périodes de formation et de stages en entreprise. Même l'été, des sessions d'examens ou de formation continue peuvent occuper les locaux.

Impossible de bloquer l'établissement plusieurs mois pour travaux → nécessité d'un phasage précis en fonction de l'activité.



Maintien du confort et de la sécurité

Même en chantier, il faut garantir :

- Température adaptée en hiver,
- Ventilation minimale (hygiène),
- Sécurité incendie et évacuation.

Penser des solutions transitoires (chaufferie provisoire, ventilation mobile).



Impossibilité de « sortir » les usagers – Phasage des interventions

Les apprentis et personnels doivent rester sur site pendant les travaux. Les zones pédagogiques doivent rester accessibles. Privilégier des travaux par zone, et travaux lourds en périodes creuses.

Planifier les gains rapides (éclairage, régulation, calorifugeage) avant les gros chantiers (isolation, remplacement d'installations).



Environnement et santé dans les ateliers

Les activités des ateliers sont parfois sources de risque à la santé des élèves et équipes pédagogiques : air pollué, substance chimique, émissions de poussières et particules fines, température d'ambiance trop chaude ou trop froide etc.

Les travaux de rénovation ne peuvent pas se limiter à la performance énergétique : il est impératif de prendre en compte les enjeux sanitaires.



Niveau de contrainte et d'inconfort

Certaines ambiances de températures chaud ou froid, peuvent avoir un impact sur la santé. Des méthodes d'évaluation de la contrainte thermique existent pour cela :

➡ **L'ATP - Astreinte thermique prévisible (pour la surchauffe)** : encadrée par la norme NF EN ISO 7933, elle a pour but d'estimer des durées d'expositions sous température importante sans risque. Elle prédit le débit sudoral et la température corporelle centrale que l'organisme humain met en œuvre en réaction aux conditions de travail à la chaleur, et indique si la durée de travail peut être maintenue.

➡ **L'IREQ - Isolement thermique requis du vêtement (pour le froid)** est défini par la norme ISO11079 et détermine l'isolement vestimentaire nécessaire pour maintenir l'équilibre thermique du corps en tenant compte du niveau d'activité métabolique, et des corrections liées aux conditions réelles. Le port d'un vêtement dont l'isolement est inférieur à l'indice IREQ requis, implique une durée d'exposition limite, ne permettant pas le maintien de l'activité.

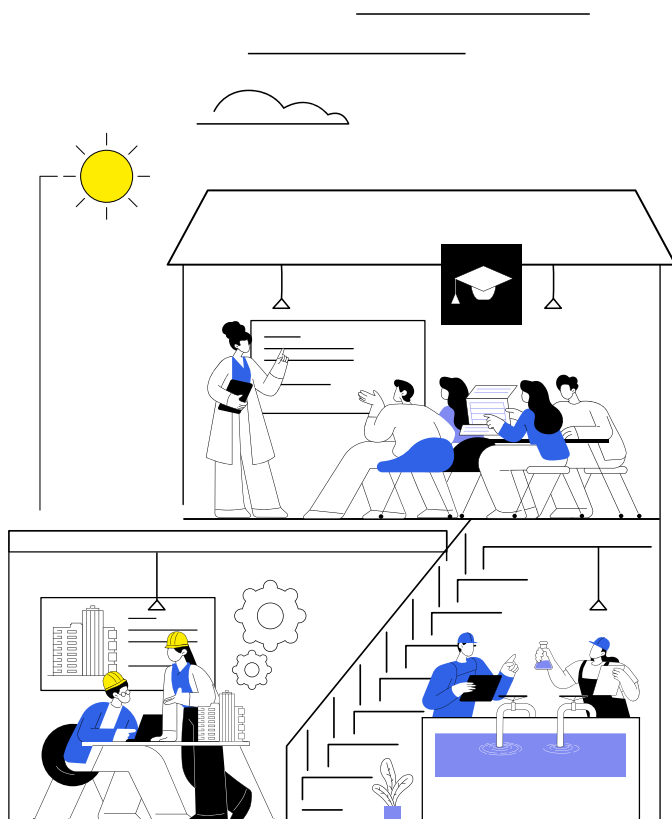
[INRS - Guide d'évaluation des risques liés aux ambiances thermiques]

2.

ANTICIPER



Quelles problématiques anticiper avant de se lancer et comment l'audit constitue le socle d'un projet de rénovation énergétique fiable et exploitable.



Quelles sont les grandes problématiques à prendre en considération ?

Confort d'été et rénovation énergétique : l'intégrer dès la conception du projet

La rénovation d'un bâtiment est trop souvent appréhendée sous le seul prisme de la réduction des consommations énergétiques en période de chauffe. Cette vision partielle expose les établissements qui s'y conforment à une double impasse : des travaux qui, au nom de l'efficacité hivernale, détériorent sensiblement les conditions de vie et de travail en période estivale, et une montée en puissance des usages de climatisation qui annule une partie des économies d'énergie attendues.

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes caniculaires, documentée par Météo-France, ne fera que continuer d'intensifier cette problématique.

Accueillant des apprenants en formation aux métiers de la construction et de la rénovation, les CFA ont une responsabilité pédagogique directe dans la diffusion des bonnes pratiques.

Il est ici présenté brièvement quelques grands principes fondamentaux du confort estival, les sources d'inconfort les plus fréquentes dans ce type d'établissement, et les principes d'action qui permettent d'intégrer cette dimension dans une démarche de rénovation cohérente et durable.

- **Les sources d'inconfort dans les bâtiments de formation : un diagnostic nécessaire**

La température ressentie à l'intérieur d'un bâtiment n'est pas uniquement déterminée par les caractéristiques de ce dernier. L'environnement immédiat joue un rôle de premier plan. Les établissements situés en milieu urbain dense, entourés de surfaces minérales imperméables, sont soumis à l'effet d'îlot de chaleur urbain, phénomène qui peut élever localement la température de plusieurs degrés par rapport à des zones plus végétalisées.

Les cours des établissements de formation, fréquemment constituées de vastes surfaces asphaltées, contribuent à ce phénomène.

Exposées à un fort rayonnement solaire, ces surfaces peuvent atteindre des températures de 50 à 60 °C, générant des courants d'air chaud qui pénètrent dans les bâtiments et aggravent l'inconfort ressenti.



QUELQUES REMARQUES TERRAIN

La question de la surchauffe estivale est devenue un problème récurrent. Les échanges avec les équipes pédagogiques et techniques montrent que les établissements sont désormais fréquemment confrontés à des situations d'inconfort thermique dès le milieu du printemps.

Dans les salles de classe, une atmosphère étouffante rend l'apprentissage difficile et nuit à la concentration. Dans les ateliers, la chaleur peut également perturber certaines activités pratiques. Par exemple, dans les formations liées à la peinture ou aux finitions, il est rapporté que les matériaux peuvent sécher trop rapidement pendant les épreuves ou les examens, influant même les conditions nécessaires à la réalisation des travaux demandés.

Cette problématique ne concerne pas uniquement les bâtiments anciens. Même dans des bâtiments récemment rénovés, la surchauffe estivale reste régulièrement signalée à cause d'une non prise en compte de ce sujet, ou d'une mauvaise réalisation des travaux (protections solaires insuffisantes, mal dimensionnées ou mal installées).



POINT DE VIGILANCE

Les ateliers, vastes volumes avec toitures et équipements, sont très exposés au froid hivernal et aux surchauffes estivales et nécessitent une analyse spécifique, tout comme les salles de cours et les salles informatiques.

• Enveloppe et vulnérabilités thermiques

L'architecture des bâtiments de formation, notamment ceux issus des décennies 1960 à 2000, présente des vulnérabilités typiques en matière de confort estival.

Les grandes surfaces vitrées, pensées pour maximiser la lumière naturelle et les apports solaires gratuits en hiver, deviennent en été des vecteurs de surchauffe lorsqu'elles ne sont pas équipées de protections solaires extérieures efficaces. L'orientation des façades aggrave ou atténue ce phénomène : les façades sud et ouest sont les plus exposées aux rayonnements de forte intensité.

Les parois opaques contribuent également à la problématique. La nature des matériaux, leur couleur et leur inertie thermique conditionnent la capacité du bâtiment à amortir les variations de température. Un matériau à faible inertie, ou une enveloppe de couleur sombre, absorbe le rayonnement solaire et le restitue rapidement à l'intérieur, surtout avec des niveaux d'isolation faible ou inexistant, réduisant l'effet d'amortissement entre l'extérieur et les espaces occupés.

Le choix de revêtements clairs pour les façades et les toitures constitue à cet égard un levier simple et efficace : en réfléchissant une part plus importante du rayonnement solaire incident, les surfaces claires réduisent l'élévation de température des parois et, par voie de conséquence, la charge thermique transmise vers l'intérieur. Ce critère doit être intégré dans tout choix de matériaux ou de peinture lors d'une opération de ravalement ou de réfection de toiture.

Enfin, les locaux aménagés en combles ou directement sous toiture représentent des situations particulièrement critiques. Exposées au rayonnement solaire sur leur totalité, les toitures peuvent atteindre des températures de surface très élevées, transmettant une charge thermique considérable aux espaces situés en dessous, en l'absence de solutions d'isolation et de ventilation adaptées.



Principaux leviers d'action à intégrer dans le projet de rénovation :

- Végétalisation des extérieurs, toitures et murs pour créer des îlots de fraîcheur et réduire l'îlot de chaleur urbain
- Réduire les apports solaires sur vitrages grâce aux protections solaires extérieures et leur gestion automatisée
- Renforcer l'inertie thermique des parois opaques pour amortir les variations de température
- Optimiser la ventilation naturelle nocturne : systèmes d'ouverture adaptés, surventilation permettant le refroidissement par tirage thermique. Cette ventilation peut être automatisée pour en optimiser les bénéfices, ou complétée par de la surventilation mécanique (free cooling), permettant un renouvellement d'air accru en période nocturne et une décharge thermique du bâtiment grâce aux températures basses. L'inventaire et l'optimisation de l'ensemble des ouvrants potentiellement mobilisables pour ventiler participent également à l'évacuation de la chaleur accumulée.
- Favoriser le rafraîchissement naturel sobre en énergie, au-delà de la ventilation naturelle (géocooling, rafraîchissement adiabatique, puits climatiques selon le site...).
- Concevoir ou exploiter des locaux traversants, avec des ouvertures opposées pour favoriser les courants d'air naturels, sans aucun investissement mécanique.
- Maîtriser les apports internes (équipements, éclairage, densité d'occupation), ainsi que la formation des équipes sur les réflexes à avoir (usage des ouvrants et protections solaires)
- Brasseurs d'air : solution sobre améliorant la température ressentie dans salles de cours et ateliers.

- **Une approche systémique : combiner les leviers d'action**

L'amélioration du confort estival ne repose pas sur une solution unique mais sur la combinaison cohérente de plusieurs interventions. Agir exclusivement sur un composant, l'isolation de la toiture, par exemple, sans traiter simultanément la ventilation et les protections solaires, produit des effets insuffisants voire contre-productifs. La démarche doit être pensée de façon globale, en hiérarchisant les actions selon leur efficacité, leur coût et leur compatibilité avec les autres travaux envisagés.

- **Réversibilité : sobriété et cohérence**

Lorsque la rénovation prévoit des systèmes thermodynamiques, il est pertinent de privilégier des équipements réversibles capables d'assurer chauffage et rafraîchissement.

Toutefois, le refroidissement actif ne doit intervenir qu'en complément d'une stratégie passive, notamment lors des épisodes de canicule. Le remplacement d'anciens systèmes fossiles par des pompes à chaleur réversibles peut traiter simultanément les besoins de chauffage et de rafraîchissement, à condition que l'enveloppe du bâtiment limite d'abord les besoins. Couplés à des CTA ou à une ventilation double flux, ces systèmes peuvent répondre aux besoins hivernaux et ponctuellement au rafraîchissement estival. Leur utilisation doit rester exceptionnelle et ne peut se substituer aux travaux sur l'enveloppe et la ventilation.

Cette approche de sobriété énergétique est particulièrement importante dans les CFA du bâtiment, car elle porte aussi un message pédagogique : la climatisation systématique d'un bâtiment mal conçu n'est pas une solution durable.

Ce que la Direction du CFA doit retenir et engager

La Direction d'un CFA qui s'engage dans un projet de rénovation énergétique doit intégrer le confort d'été comme une exigence de conception à part entière, et non comme une option ou un ajout secondaire.

Plusieurs implications pratiques découlent de cette posture :

- Inscrire le confort estival dans le cahier des charges de toute opération de rénovation, en demandant explicitement que les études préalables traitent cette dimension avec la même rigueur que les économies d'énergie en chauffage.
- Exiger un diagnostic thermique global intégrant les performances d'été, confié à des professionnels qualifiés disposant de références en matière de bâtiments d'enseignement ou de formation.
- Associer les équipes pédagogiques et les services techniques à la réflexion dès la phase amont : leur connaissance des usages réels des locaux est indispensable à l'élaboration d'un programme de travaux pertinent.
- Prévoir, dans le plan de financement et d'investissement, les mesures d'accompagnement comportemental : formation du personnel à la gestion thermique des locaux, protocoles saisonniers d'utilisation des protections solaires et des systèmes de ventilation.
- Valoriser la démarche auprès des apprenants en leur présentant les choix techniques retenus, les arbitrages effectués et les résultats attendus : le CFA devient ainsi un terrain d'apprentissage vivant des enjeux de rénovation performante.

Qualité de l'air intérieur et inconfort acoustique

La qualité de l'air intérieur constitue également un enjeu important dans les CFA. Dans de nombreux cas, les salles de classe ne sont pas équipées de systèmes de traitement ou de renouvellement d'air mécanique, ce qui conduit à une aération reposant principalement sur l'ouverture des fenêtres.

Cette situation peut rapidement entraîner une accumulation de CO₂ lorsque les salles sont fortement occupées. Dans les ateliers, la problématique est également présente : ils sont encore rarement équipés de systèmes d'extraction d'air centralisés.



Qualité de l'air intérieur, bien comprendre

En raison d'un manque de renouvellement d'air, la qualité de l'air intérieur se dégrade rapidement en présence d'occupants, ce qui augmente la concentration CO₂ et l'humidité. Le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) recommande que les établissements recevant du public visent une concentration de 800 ppm de CO₂ pour assurer un renouvellement d'air adéquat.

En France, l'indice « ICONE » (Indice de CONfinement d'air dans les Ecoles développé par le CSTB) est un indice pour évaluer le confinement de l'air d'une pièce et la corrélation avec le taux de CO₂ présent en lui attribuant un score de 0 à 5. Il permet ainsi d'évaluer la qualité et l'efficacité des systèmes d'aération et de renouvellement de l'air dans un espace clos et occupé.



Un indice de confinement de 5 correspond à des pics de concentration en CO₂ supérieurs à 4 000 ppm et à des valeurs moyennes pendant l'occupation supérieures à 2 000 ppm.

Pour une concentration de 1 500 ppm (niveau moyen de l'indice), il est nécessaire, au regard des éléments de la littérature scientifique, de mettre en œuvre des actions correctives (diminution de la jauge d'occupation ou évacuation du local, modification des moyens techniques d'aération et de ventilation).

Une mauvaise qualité d'air induit une baisse de concentration importante chez les apprenants, et par extension une image négative des organismes de formation.

L'inconfort acoustique est une problématique récurrente, notamment dans les ateliers techniques où cohabitent bruit machine et système de ventilation bruyant dans de grands volumes ouverts. Le sens auditif humain est naturellement adapté à un environnement extérieur où le son n'est pas réfléchi par les plafonds et les murs.

Une exposition prolongée au bruit a un impact néfaste sur la santé et le bien-être. C'est notamment le cas pour les équipes pédagogiques qui sont présentes dans les ateliers sur des durées plus longues. Les ateliers manquent souvent d'absorption acoustique, donc une réverbération élevée, et une propagation du bruit sur de longues distances.

Consommations énergétiques non maîtrisées

La maîtrise de l'ensemble des consommations énergétiques est parfois un défi, en raison d'une grande diversité d'espaces dont les usages et les besoins énergétiques sont très différents. Les consommations sont réparties entre plusieurs bâtiments, systèmes et activités, ce qui rend leur lecture et leur pilotage complexes.

Le manque de dispositifs de suivi précis ou de sous-comptage ne permet ni d'identifier clairement l'origine des consommations ni de relier celles-ci aux usages réels. Dans ce contexte, il devient difficile pour les équipes de repérer les dérives, d'ajuster le fonctionnement des installations.

Par exemple, dans de nombreux bâtiments, le chauffage fonctionne en continu, sans programmation ni adaptation aux périodes d'occupation. Cette absence de régulation entraîne des consommations inutiles, une sollicitation permanente des équipements et des déséquilibres de température entre locaux.

Difficulté de définir une stratégie de rénovation

À l'issue des audits énergétiques, les CFA disposent souvent de nombreux éléments techniques, mais peinent à définir un schéma clair de priorisation des travaux. Les équipes s'interrogent sur l'échelle pertinente d'intervention : faut-il agir sur l'ensemble du site, cibler certains bâtiments ou privilégier les actions présentant le meilleur retour sur investissement.

Cette phase de décision est souvent délicate car elle doit concilier contraintes budgétaires, état du patrimoine et réglementation.



Etre à l'écoute des occupants

La réussite d'une rénovation de CFA se joue sur un nombre limité de points techniques critiques, souvent les mêmes d'un projet à l'autre. Diagnostic basé sur le ressenti plutôt que sur des mesures, ateliers analysés comme des bureaux, confort d'été traité en fin de projet, GTB sur-sophistiquée inutilisable par les équipes, réception sans commissionnement... Ces erreurs récurrentes transforment des projets ambitieux en rénovations fragiles.

Lister des points de vigilance techniques peut aider la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre à sécuriser les choix à chaque jalon du projet.

Ils peuvent se structurer ainsi :

- Un socle transversal applicable à tout le site, portant sur le diagnostic initial, le pilotage (GTB), la maintenance et la mise en service. Ces sujets concernent le projet dans son ensemble, quelle que soit la zone traitée.
- Des points spécifiques par zone fonctionnelle (salles de cours, ateliers métiers, internats, restauration) qui complètent le socle avec les exigences propres à chaque type de local.

Pour chaque points, l'erreur typique et l'exigence technique attendue sont identifiés. Ils ne remplacent pas le travail de conception, mais constitue un outil de relecture systématique à chaque jalon du projet.



Points de vigilance techniques pour sécuriser les choix >> page 85



L'audit, socle de tout projet de rénovation énergétique : quels sont les points à vérifier pour qu'il soit réellement exploitable ?

L'audit énergétique est la première étape permettant à un maître d'ouvrage de définir un projet de rénovation sur l'un de ses bâtiments.

L'audit suit les étapes suivantes :

- Lancement de la mission
- Etat des lieux / visite de site
- Modélisation de l'état existant
- Améliorations et scénarios travaux



Avant l'audit : lancement de la mission

Définir l'ambition du projet avant la consultation

L'audit doit permettre, à partir de la modélisation d'un état existant, de définir un panel de scénarios travaux, visant différents objectifs de performance et offrant au maître d'ouvrage différentes orientations stratégiques pour son projet de rénovation.

Il revient donc au prestataire réalisant l'audit de proposer un large choix de scénarios travaux. Néanmoins, si le maître d'ouvrage a déjà défini quelques orientations pour son projet de rénovation, ces dernières doivent être prises en considération avec par exemple :

- Une cible spécifique en matière de performance énergétique : atteinte du seuil Décret Tertiaire 2050, atteinte du BBC rénovation, étiquette DPE cible...
- Une optimisation financière du projet : focus sur des actions à faible temps de retour, optimisation de l'investissement, mobilisation de certaines aides financières.
- Prise en compte de contraintes spécifiques : intervention en site occupé, durée des travaux à restreindre au maximum (bâtiment d'enseignement par exemple).

- Orientations spécifiques : intégration d'EnR, prise en compte du confort estival et de la résilience du bâtiment face au changement climatique...etc.

Si le maître d'ouvrage a déjà établi, en première approche un scénario travaux, l'audit peut également permettre de réaliser plusieurs variantes (plusieurs solutions pour le remplacement du système de chauffage par exemple) préparant ainsi au mieux la phase de maîtrise d'œuvre.

Ces orientations, définies en amont de l'audit, devront être transmises au prestataire par le biais d'un cahier des charges précis, indiquant le périmètre exact (bâtiments, usages, systèmes inclus), l'objectif de performance visé et le niveau de détail attendu dans les scénarios de travaux... Le prestataire sera alors en mesure d'établir une offre de prix adaptée à la complexité réelle, et non un forfait générique.

Pour faire un choix éclairé parmi les différentes offres reçues de la part des prestataires certains éléments sont des critères incontournables à vérifier systématiquement, et d'autres sont des points de vigilance à éclaircir impérativement.

✓ Critères incontournables et exigences non négociables

- Quelles références sont présentées par le prestataire sur des typologies de bâtiments similaires ? *Même usage, surface comparable, complexité technique équivalente...*
- Dispose-t-il d'une qualification professionnelle en audit de bâtiments (OPQIBI 1905 ou équivalent) ? *Vérifiable sur le site de l'organisme certificateur.*



Point de vigilance à éclaircir impérativement

- Description de l'équipe projet proposée et CV transmis
- Quel type d'outil de calcul sera utilisé pour modéliser le bâtiment : outil réglementaire ? Outil de simulation dynamique ?
- Y a-t-il un lien commercial avec un installateur ou un fournisseur d'énergie ? *L'indépendance du prestataire est une condition sine qua non pour être certain que l'audit présentera les solutions techniques les plus adaptées au bâtiment considéré et prévenir les risques de conflit d'intérêts dans les préconisations.*

Pendant l'audit : la collecte des données et la visite sur site

Un audit énergétique de qualité ne s'effectue ni à distance ni en visite superficielle. La durée et le contenu de la visite sur site, ainsi que la nature des échanges en amont, sont des indicateurs précieux de la rigueur du prestataire.

La collecte des données

Un auditeur-trice qualifié-e sollicitera, avant même la visite, l'obtention d'un ensemble de documents sans lesquels l'analyse sera superficielle.

L'auditeur-trice devra néanmoins s'adapter à la quantité et à la qualité des données disponibles : les plans ne sont pas toujours complets ni en format DWG, l'historique des consommations sera peut-être incomplet sur certaines années...

Dans tous les cas plus les données fournies seront qualitatives et plus l'audit sera fiable. Le Maître d'ouvrage doit donc s'efforcer de fournir un maximum de documents et informations à l'auditeur-trice.



✓ Documents que l'auditeur doit demander :

- Les factures d'énergie des trois dernières années au minimum, par vecteur énergétique (gaz, électricité, fioul, bois, réseau de chaleur). S'il existe plusieurs compteurs ou bâtiments, chaque poste doit être identifié séparément.
- La situation de référence déclarée par le maître d'ouvrage pour les bâtiments assujettis au décret tertiaire (année de référence et consommations associées).
- Les plans du bâtiment (architecturaux et techniques), même anciens et imparfaits : ils permettent d'estimer les surfaces, les volumes,
- Les carnets d'entretien des installations de chauffage, ventilation et climatisation, ainsi que les derniers rapports de maintenance.
- Les données d'occupation réelle : horaires, effectifs moyens présents, calendrier annuel d'utilisation des locaux.
- Les consignes de régulation thermique en vigueur et les températures de consigne par zone.
- Les travaux déjà réalisés sur l'enveloppe ou les systèmes, même partiels.





Ce qui doit vous alerter :



- L'auditeur-trice ne demande que les factures et rien d'autre avant la visite.
- L'auditeur-trice, en l'absence de certains documents fournis, ne propose aucune méthode alternative pour essayer d'obtenir les informations manquantes.

La visite sur site

Idéalement l'auditeur-trice récupère l'ensemble des informations avant la visite de site. La visite du bâtiment se fait en compagnie d'un ou d'une responsable technique. Cela permet également de compléter les informations (par exemple sur les scénarios de chauffage, les consignes de température ou encore sur l'occupation du bâtiment).

La visite est le cœur de la démarche. Elle ne doit pas être superficielle. Une visite rigoureuse peut mobiliser selon la taille des sites entre 2 à 3h jusqu'à une journée entière. Le prestataire doit s'assurer, en amont de la visite, que l'ensemble des locaux sera bien accessible (notamment toiture et locaux techniques).



Ce que l'auditeur-trice doit systématiquement faire :

- Examen de l'enveloppe thermique dans son ensemble : toitures, façades, menuiseries, ponts thermiques apparents, protections solaires, etc.
- Inspection des locaux techniques et les équipements CVC : chaudières, groupes froids, CTA, émetteurs, régulation, comptage.
- Observation des usages réels d'éclairage et identification des zones à fort potentiel : présence de détecteurs, nature des sources, niveaux d'éclairage.
- Interrogation du gestionnaire technique ou du responsable de site sur les dysfonctionnements connus, les inconforts récurrents, les habitudes d'exploitation.



Point de vigilance à éclaircir impérativement

- Selon les cas, des mesures ou des relevés sont réalisés (températures, débits, puissances).
- La qualité de la ventilation et l'étanchéité à l'air perçue sont évaluées. Sans test de pressurisation, une estimation qualitative reste possible.



Même si le Décret Tertiaire met l'accent sur les économies d'énergie finale, un audit de qualité ne s'attarde pas simplement sur l'évaluation de la performance énergétique d'un site.

Pour pouvoir définir le programme de travaux le plus cohérent possible, l'audit doit également intégrer :

- Une évaluation de l'état de vétusté de chaque élément de l'enveloppe et des systèmes (dont le croisement avec la performance énergétique permettra de prioriser les travaux à effectuer).
- Une évaluation du niveau de confort thermique, notamment estival, par le biais d'indicateurs qualitatifs ou quantitatifs (dans le cas d'une simulation thermique dynamique) et en interrogeant systématiquement les occupants du site (lors de la visite et / ou avec un questionnaire dédié).
- Une réflexion sur la décarbonation avec notamment des propositions techniques permettant de s'affranchir des énergies fossiles.
- L'intégration des enjeux d'adaptation au changement climatique.

Le rapport : outil décisionnel ou document inutilisable

C'est à la lecture du rapport que l'on mesure réellement la valeur de l'audit. Un bon rapport d'audit n'est pas nécessairement le plus épais : il est précis, lisible, et orienté vers la décision. Un mauvais rapport laisse dans l'incertitude sur ce qui doit être fait, dans quel ordre, et pour quel résultat.

✓ Ce que le rapport doit impérativement contenir :

- Un rapport détaillé de la visite de site avec évaluation de la performance et de la vétusté de l'enveloppe et des systèmes.
- Un état des lieux factuel des consommations, décomposé par usage (chauffage, ECS, éclairage, ventilation, bureautique, climatisation) et rapporté à une valeur de référence permettant la comparaison (kWh/m²/an par exemple).
- L'identification des pertes et des gisements d'économies, expliquée de manière compréhensible : pourquoi ces pertes existent-elles, où sont-elles localisées, quelle en est l'ampleur estimée ?
- La simulation d'améliorations énergétiques élémentaires (Non obligatoire mais améliore nettement la qualité de l'étude).
- Des scénarios de travaux hiérarchisés, allant des actions à faible coût et temps de retour rapide jusqu'aux investissements lourds.
- Pour chaque action préconisée : un ordre de grandeur du coût d'investissement, des économies annuelles estimées en kWh et en euros, un temps de retour brut, l'impact sur les émissions de GES.
- Une synthèse exécutive d'une à deux pages, lisible sans formation technique, qui présente les enseignements clés et les trois ou quatre actions prioritaires.
- Un focus sur le confort thermique, une étude EFAPE simplifiée (Etude de Faisabilité en Approvisionnement des Energies : visant à étudier la faisabilité des approvisionnements en énergie selon plusieurs variantes), un focus réglementaire (à minima décret BACS et EET).
- Une présentation de la méthode de calcul avec le calage aux factures.
- Eventuellement : une indication des aides financières mobilisables.



Ce qui doit vous alerter :

- Les scénarios de travaux ne sont pas adaptés au bâtiment mais semblent génériques ou standardisés (avec par exemple des formules vagues telles que : remplacement systématique des menuiseries, isolation des combles, ECS thermodynamique, etc.) sans analyse des priorités réelles.
- Les consommations sont analysées globalement, sans ventilation par usage : on ne peut pas identifier où agir en premier.
- Le rapport ne contient aucune référence à la performance visée, à un niveau de label ou de certification éventuel ou à une trajectoire de réduction des émissions.
- Les économies projetées ne sont pas justifiées par une méthode explicite : on ne sait pas comment elles ont été calculées ou sont trop simplistes.
- Les préconisations sont présentées sans ordre de priorité ni estimation de coût ou d'économies : le rapport ne permet aucune décision d'investissement.
- Les solutions proposées dans le rapport (même si elles n'ont pas à ce stade le niveau de détails qui sera développé par la maîtrise d'œuvre) attirent elles aussi l'attention sur la durabilité, les nécessité de maintenance, d'entretien y compris réglementaires.

Synthèse sur le choix de l'auditeur

Un audit énergétique bien conduit est un investissement qui peut éviter de mauvaises décisions portant sur plusieurs centaines de milliers d'euros de travaux. L'exigence que vous exercez dès la consultation est la meilleure garantie que cet investissement sera rentable.

LES QUESTIONS A SE POSER

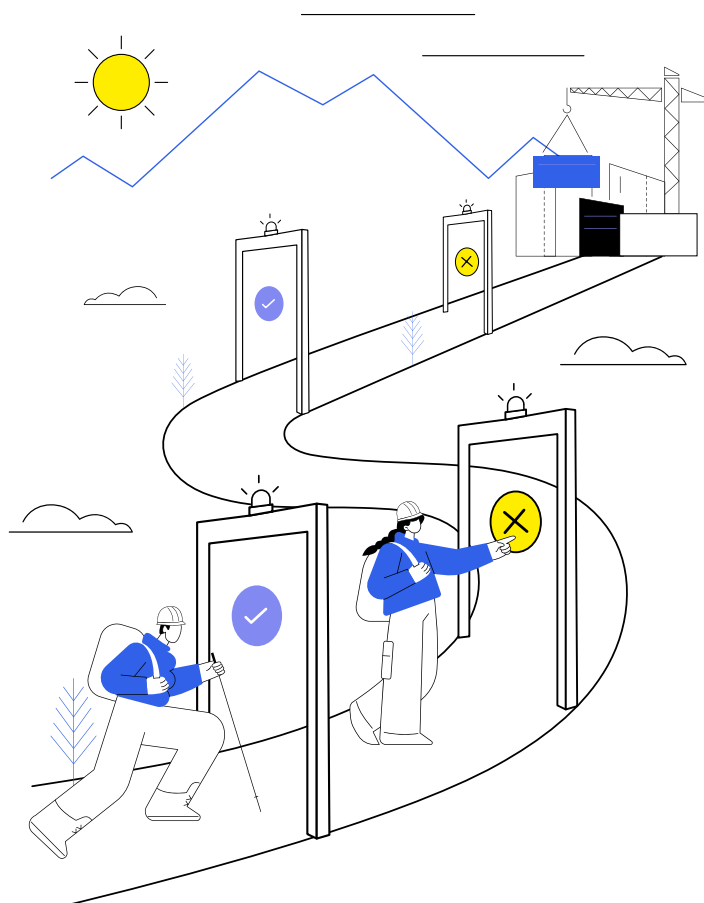
- Quelles sont les références du prestataire en audit de bâtiments tertiaires similaires au mien ?
- Qui réalisera effectivement l'audit ?
- Quelle qualification professionnelle détient l'auditeur et est-elle à jour ?
- Quelle méthode sera utilisée pour modéliser les consommations et projeter les économies ?
- Les scénarios de travaux seront-ils hiérarchisés et chiffrés individuellement ?
- Le rapport distinguera-t-il les consommations par usage ?
- Existe-t-il un lien commercial avec des installateurs ou des fournisseurs d'énergie ?
- Peut-on voir un exemple de rapport (anonymisé) pour un bâtiment comparable ?

3.

DECIDER



Comment sécuriser les décisions tout au long du parcours de rénovation, pour favoriser un bon enchaînement des étapes financières, techniques, organisationnelles.



Sécuriser les décisions : quelles sont les étapes à respecter pour réussir le projet de rénovation ?

La réussite d'un projet de rénovation se joue certes sur le **choix des solutions techniques**, mais plus encore sur **l'ordre dans lequel les décisions sont prises**.

À chaque étape du projet, certaines options restent ouvertes, tandis que d'autres se ferment. Plus le projet avance, plus les décisions engagent durablement la structure, sur les plans financier, technique et organisationnel. La majorité des projets fragilisés ne le sont pas par de mauvais choix, mais par des décisions devenues irréversibles trop tôt, ou sans cadre suffisamment stabilisé.

D'où l'intérêt de planifier un parcours / process. Il ne cherche pas à accélérer les décisions. Il vise à les sécuriser, en vérifiant à chaque étape que le niveau d'incertitude est compatible avec le niveau d'engagement.

Le parcours est structuré en étapes successives, chacune correspondant à un seuil d'irréversibilité. Passer un seuil sans disposer des éléments nécessaires fragilise durablement le projet.

Les 6 étapes du parcours de rénovation

Chaque passage d'étape repose sur un test explicite de maturité du projet. La check-list GO / NO-GO constitue l'outil opérationnel de ce principe. Elle permet au chargé de suivi de préparer, documenter et signaler les points de vigilance, et à la gouvernance de décider en connaissance de cause, sans entrer dans les choix techniques.

Trois règles s'appliquent :

- Quand un critère NO-GO apparaît une décision éclairée pour passer à l'étape suivante est nécessaire.
- Dire NON n'est pas un échec : c'est éviter une décision irréversible mal préparée.
- Le chargé de projet signale. La gouvernance décide.

Une décision irréversible est une décision dont les conséquences financières, contractuelles, techniques ou organisationnelles ne peuvent plus être annulées sans coûts significatifs, conflits ou pertes de valeur.

Une décision devient irréversible lorsqu'elle :

- engage des dépenses non récupérables,
- ferme durablement des options techniques,
- crée des obligations contractuelles,
- conditionne l'exploitation future du bâtiment.

Ce parcours ne prescrit aucune solution technique et ne neutralise pas les aléas d'un projet de rénovation. Il fournit une méthode de décision réaliste et reproductible permettant :

- de sécuriser les choix techniques et financiers,
- de protéger les équipes de projet face aux injonctions contradictoires,
- de rendre explicites les décisions réellement structurantes.

Lecture du parcours

L'organisation en 6 étapes distingue clairement :

- des étapes de décision stratégique, où les choix structurants sont posés (E0 à E2),
- des étapes de sécurisation et d'exécution, où la trajectoire validée est traduite et protégée (E3 à E5).

Cette distinction est déterminante pour comprendre où se jouent les arbitrages et à quel moment les engagements deviennent irréversibles.

Description détaillées des 6 étapes GO/NO-GO du projet (E0 → E5) >> page 70

Check-list GO / NO-GO

Le chargé de projet signale, la gouvernance décide.

✓ **GO** - Exigences minimales

✗ **NO-GO** - Signaux d'alerte

COMPRENDRE & ANTICIPER

Décider en connaissance de cause



✓ **GO** -

Obligations identifiées (Décret tertiaire, ERP...)

Responsabilités clarifiées

Risques de non-action explicités

Qualité des audits et diagnostics

✗ **NO-GO** -

Compréhension partielle

Confusion des responsabilités

Risques non analysés

Audits et diagnostics non exploitables



DÉCIDER

E0 - Opportunité

Projet financièrement plausible ?

✓ **GO**: Fourchette d'investissement cohérente • Reste à charge estimé • Ressources internes identifiées • Pas d'incompatibilité trésorerie

✗ **NO GO**: Chiffrage partiel • Aucun cadre financier

Décision: Opportunité confirmée - Budget études autorisé

E1 - Faisabilité

Au moins un scénario soutenable ?

✓ **GO**: Scénarios comparables • Ressources sécurisées • Lecture coût global

✗ **NO GO**: Aucun scénario soutenable • Comparaison biaisée

Décision: Poursuivre ou arrêter ?
Scénarios réalistes sélectionnés - Programmation

E2 - Verrouillage

Plafond et reste à charges acceptés ?

✓ **GO**: Enveloppe plafond validée • Reste à charge max accepté • Impacts fonctionnement acceptés

✗ **NO GO**: GO sans plafond financier • Arbitrages renvoyés « plus tard » • Dépendance à financements incertains

Décision: Trajectoire verrouillée - Conception autorisée

AGIR

E3 - Engagement

Risque financier majeur maîtrisé ?

✓ **GO**: Estimation fiable • Financements contractualisés • Marges aléas identifiées

✗ **NO GO**: Marchés sans financement consolidé • Pas de marges aléas

E4 - Travaux

Exécution sans dépassement du cadre ?

✓ **GO**: Exigences en clauses opposables • Suivi financier conforme et continu • Commissionnement avant réception

✗ **NO GO**: Arbitrages non validés • Dépassements sans décision

E5 - Résultat

Performances réelles confirment engagements ?

✓ **GO**: Mesures en conditions d'usage • Equipes formées • Tableau de bord actif • Capitalisation REX

✗ **NO GO**: Écarts non traités • Clôture sans mesures • Risques transférés exploitation

Ingénierie financière :

comment rendre la rénovation possible et soutenable ?

L'ingénierie financière n'est pas une étape isolée du parcours de rénovation : c'est un fil rouge qui traverse l'ensemble des étapes EO à E5. Elle ne se limite pas à chercher des subventions : elle organise, dans le temps, l'ensemble des dépenses et des recettes liées au projet, en tenant compte des contraintes réglementaires (décret tertiaire, QAI, obligations de toiture, diagnostic PEMD), des capacités budgétaires et des objectifs pédagogiques du CFA.

Cette partie aide le porteur de projet à comprendre qui peut porter quel financement, à choisir les bons dispositifs, et à construire une trajectoire réaliste en coût global, défendable devant la gouvernance.



Clarifier le cadre patrimonial et institutionnel

Avant même de parler de montants, une question conditionne l'ensemble du montage : à qui appartient le bâtiment, et sous quelle tutelle s'inscrit le CFA ?

Si le bâtiment est propriété d'une collectivité (région, département, commune, intercommunalité), la rénovation peut s'inscrire dans les dispositifs et plans d'investissement de cette collectivité : programmes de rénovation des bâtiments éducatifs (notamment EduRénov, porté par l'État et la Banque des Territoires), programmes d'ingénierie comme ACTEE, prêts dédiés. Le CFA devient alors un utilisateur-clé du bâtiment et un partenaire de la collectivité pour définir les priorités pédagogiques et d'usage. La collectivité porte les demandes d'aides nationales ; le CFA bénéficie de l'ingénierie et des travaux.

Si le bâtiment appartient à l'organisme de formation (structure associative, consulaire), celui-ci porte l'investissement et la maîtrise d'ouvrage. Les ressources mobilisables sont alors : fonds propres et apports réseau (CCCA-BTP), aides régionales ou nationales accessibles aux organismes privés ou asso-

ciatifs, certificats d'économies d'énergie (CEE), prêts bancaires éventuellement appuyés par des opérateurs publics. L'accès à certains programmes nationaux passe souvent par des partenariats avec les collectivités.

Cette clarification patrimoniale est essentielle car elle conditionne les dispositifs mobilisables, les interlocuteurs (services régionaux, Banque des Territoires, structures porteuses) et la manière de présenter le projet.



Poser le diagnostic financier de départ (Temps 1)

L'ingénierie financière s'appuie sur un double diagnostic. Le diagnostic technique et réglementaire, mené en EI, identifie les consommations, l'état du bâti et des systèmes, les besoins en matière d'usage et de confort, QAI, eau, biodiversité, et les obligations applicables. Le diagnostic financier complémentaire établit la capacité d'investissement à court et moyen terme, la capacité d'emprunt, les marges sur le budget de fonctionnement et les partenaires potentiels (CCCA-BTP, collectivité propriétaire, opérateurs publics).

Les scénarios issus de la faisabilité sont ensuite traduits en coût global sur 15 à 30 ans : investissement (travaux, études, maîtrise d'œuvre, instrumentation), économies d'énergie et d'eau, impact sur la maintenance, durée de vie des solutions, risques associés. L'objectif n'est pas de produire un modèle financier complexe, mais de disposer d'une comparaison honnête entre scénarios sur une longue durée pour nourrir les arbitrages. L'ambition est de sortir d'une logique « travaux à court terme » pour aller vers une logique de coût global : certaines solutions plus chères à l'investissement deviennent rationnelles quand elles réduisent fortement les charges, les risques et les coûts de réparation sur la durée. D'autres paramètres sont à prendre en compte comme le confort et la qualité des apprentissages, l'attractivité de l'OF et du territoire dans lequel il est implanté.



Etablir le diagnostic technique, réglementaire, financier et les scénarios de l'étude de faisabilité » page 82

Construire un plan de financement par grandes familles de dépenses (Temps 2)

- **Distinguer ingénierie, travaux et exploitation**

Une fois le profil financier clarifié, l'étape suivante consiste à ventiler le projet en grandes familles de dépenses et à associer, à chacune, les leviers financiers possibles.

Tous les dispositifs ne financent pas les mêmes choses. Il est utile de structurer le projet autour de trois blocs : Ingénierie et études / Travaux et équipements / Exploitation et suivi. Pour chaque bloc, le porteur de projet peut ensuite associer des sources de financement adaptées.

Familles de dépenses	Description	Sources de financement adaptées
Ingénierie et études	- Audits architecturaux (y compris fonctionnement / usages) et énergétiques, - Études de QAI, acoustique, de confort d'été et de gestion de l'eau, - Assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO), maîtrise d'œuvre (MOE), commissionnement.	Fonds propres, cofinancement CCCA-BTP, aides à l'ingénierie (collectivités, programmes nationaux dédiés aux bâtiments éducatifs ou tertiaires), programmes d'ingénierie pour la rénovation des bâtiments publics
Travaux et équipements	- Enveloppe (toitures, façades, menuiseries vitrées, ponts thermiques), - Systèmes techniques (chauffage, ventilation, ECS, éclairage, GTB), - Gestion de l'eau (sous-comptage, dispositifs de régulation, récupération, traitement), - Végétalisation, désimperméabilisation, aménagements extérieurs.	Subventions d'investissement, certificats d'économies d'énergie (CEE), prêts (notamment via la Banque des Territoires pour les collectivités), apports propres, éventuels cofinancements Europe ou État selon les territoires ;
Exploitation et suivi	- Instrumentation et tableaux de bord, - Maintenance renforcée au démarrage, - Mesure et vérification des performances (notamment dans le cadre d'un contrat de performance énergétique ou d'un commissionnement).	Budget de fonctionnement, contrats d'exploitation ou CPE incluant la mesure et l'optimisation.

Cette structuration permet de ne pas chercher les mêmes financements pour tout : par exemple, l'ingénierie bénéficie souvent de programmes spécifiques, tandis que les travaux mobilisent CEE, subventions et prêts.

Plus d'éléments de détails pour :

- intégrer les CEE dans le montage
- s'appuyer sur les programmes nationaux pour les bâtiments éducatifs et tertiaires publics (si applicable)
- mobiliser les aides régionales et locales
- explorer le recours aux contrats de performance énergétique (CPE) et au tiers financement si cela est justifié

Voir page 84

Mettre en cohérence financement, calendrier et phasage (Temps 3)

L'ingénierie financière doit rester articulée aux **étapes E0—E5** :

En E1 (faisabilité), le diagnostic architectural et technique intègre une première estimation des coûts et des économies, tandis qu'un diagnostic financier de base est posé (ordres de grandeur d'investissement possibles, partenaires pressentis).

En E2 (programmation), les scénarios sont confrontés à la capacité financière réelle : un plan de financement prévisionnel est esquissé, avec une hiérarchisation des tranches de travaux.

En E3 (conception), les estimations sont affinées, et les demandes de subventions ou de prêts peuvent être lancées sur la base de dossiers techniques consolidés.

En E4 (marchés et travaux), les résultats des consultations d'entreprises sont comparés au plan de financement ; des ajustements peuvent être nécessaires (phasage, variantes techniques).

En E5 (mise en service), le suivi des consommations et des coûts permet de vérifier que le scénario financier réel reste cohérent avec les prévisions et de préparer les phases suivantes (nouvelles tranches, optimisations).

Une attention particulière doit être portée à la trésorerie :

- Calendrier des décaissements travaux vs calendrier des versements de subventions et de primes (CEE, aides). Des décalages de versements des financements peuvent engendrer des difficultés à honorer les factures liées aux travaux et à des retards voire arrêt de chantier préjudiciables à l'avancement global du chantier.
- Impacts éventuels des retards de chantier ;
- Possibilité de recourir à des avances ou à des outils de préfinancement, notamment pour des projets publics soutenus par des opérateurs comme la Banque des Territoires.

Le porteur de projet se doit de vérifier, à chaque étape du projet de rénovation :

- si les financements nécessaires à l'étape suivante sont identifiés (au moins à titre de scénario) ;
- si le calibrage des travaux reste compatible avec les enveloppes prévues

Un projet peut être rentable à long terme mais impossible à lancer sans maîtrise de la trésorerie.

Pour connaître les leviers financiers disponibles en fonction de chaque étape du projet >> page 90

L'ingénierie financière examine :

- le profil des décaissements (pics de travaux par année) ;
- les délais de versement des subventions et primes (notamment CEE) ;
- les risques de décalage en cas de retard de chantier ;
- les solutions de préfinancement (avances des financeurs, prêts relais, phasage des travaux en plusieurs tranches).

Dans certains cas, une stratégie par tranches conditionnelles est pertinente :

- une première tranche cible les actions les plus urgentes (obligations réglementaires, risques majeurs, gisements d'économies rapides) ;
- les économies et l'amélioration de la situation permettent ensuite de crédibiliser une phase 2 plus ambitieuse.



Préparer la décision de la gouvernance (Temps 4)

Enfin, l'ingénierie financière doit déboucher sur un **arbitrage clair**, compréhensible par les financeurs combinant :

Une présentation des risques de non-action :

- Exposition au risque réglementaire (décret tertiaire, QAI, obligations de toiture, diagnostic PEMD). Des décalages de versements des financements peuvent engendrer des difficultés à honorer les factures liées aux travaux et à des retards voire arrêt de chantier préjudiciable à l'avancement global du chantier ;
- Vulnérabilité face aux vagues de chaleur, aux hausses éventuelles des prix de l'énergie ;
- Dégradation de l'image et de l'attractivité du CFA.

Une mise en avant des gains attendus :

- Économies d'énergie et d'eau ;
- Baisse des coûts de maintenance grâce au renouvellement anticipé des équipements et à la pérennisation de l'enveloppe ;
- Amélioration du confort, de la QAI, des espaces extérieurs et de la santé des usagers ;
- Capacité à faire du site un support pédagogique sur les métiers de la rénovation et de la transition écologique.

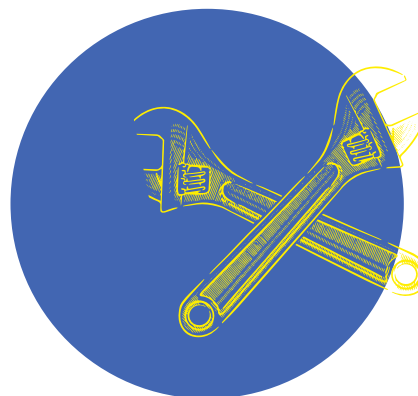
Un plan de financement lisible :

- Répartition des sources (fonds propres, aides, CEE, prêts, éventuellement CPE) ;
- Calendrier des investissements ;
- Points de vigilance (conditions d'éligibilité, délais, non-cumul).

L'objectif est de permettre à la gouvernance du CFA et à ses partenaires (CCCA-BTP, collectivités, tutelles) de prendre une décision informée, en connaissance des engagements financiers, des obligations réglementaires et des bénéfices attendus sur le long terme.

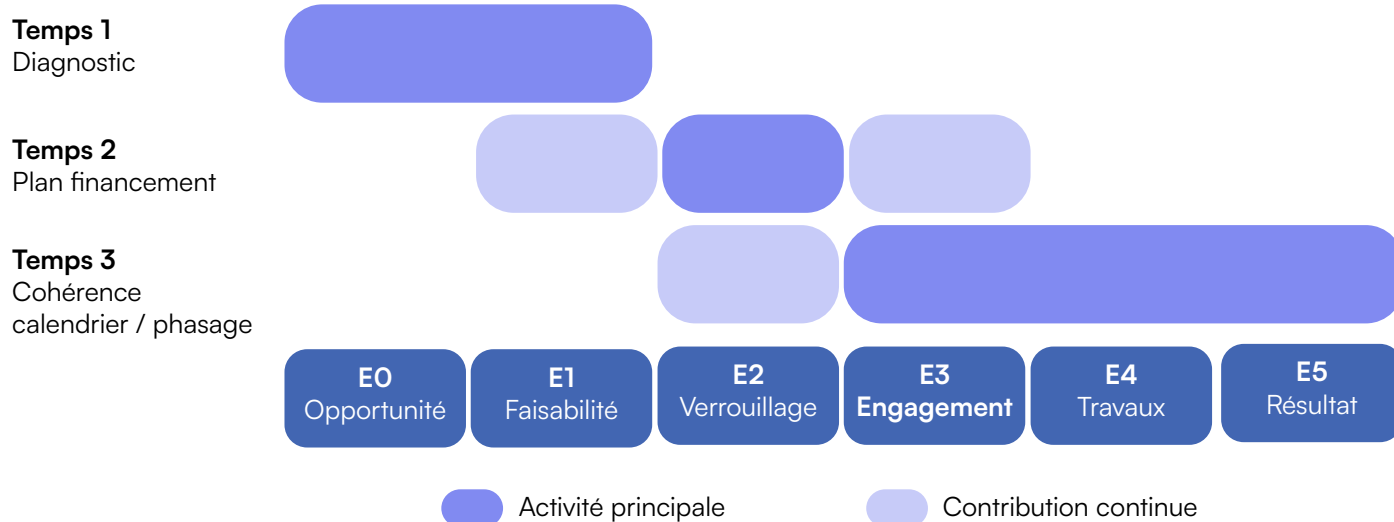
Pour aider la gouvernance, le porteur de projet définit **des critères simples de décision partagés**, par exemple :

- Effort d'investissement maximum : plafond par année ou sur l'ensemble de l'opération.
- Temps de retour énergétique indicatif : par exemple, viser des mesures avec un retour sur 10—20 ans pour la partie énergie.
- Taux minimal de cofinancement externe : ex. un pourcentage ciblé de subventions et de CEE sur les travaux énergétiques.
- Impact sur le budget de fonctionnement : limitation de l'augmentation nette (si hausse temporaire des charges liée à l'emprunt ou au CPE) à un seuil jugé acceptable.



Ces critères ne remplacent pas l'analyse, mais structurent la discussion et facilitent la décision.

Synthèse et mise en perspective 6 étapes / temps financiers



Chaque Temps (en horizontal) traverse une portion différente des 6 étapes du parcours de rénovation (GO/NO-GO). Les zones pleines correspondent à l'activité principale, les zones claires à la contribution continue. L'ingénierie financière étant un fil rouge, chaque Temps prépare le suivant ou prolonge le précédent.

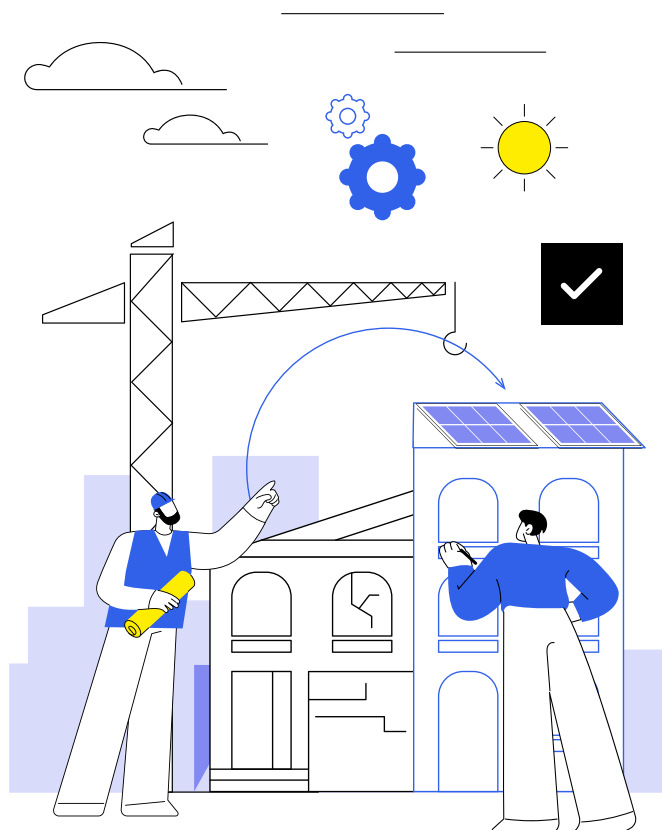
- Temps 1 - Diagnostic : en activité principale sur E0 et E1. La plausibilité financière est posée, puis que les scénarios de faisabilité en coût global sont traduits.
- Temps 2 - Plan de financement : atteint son activité principale en E2 (verrouillage du cadre financier de référence), avec une préparation dès E1 lors de la construction des scénarios et une consolidation en E3 lorsque les demandes de subventions sont lancées sur la base de dossiers techniques.
- Temps 3 - Cohérence calendrier / phasage : prend le relais à partir de E3 et reste actif jusqu'à la clôture du projet. Ajustements en phase travaux, vérification des performances financières réelles en exploitation.

4.

AGIR



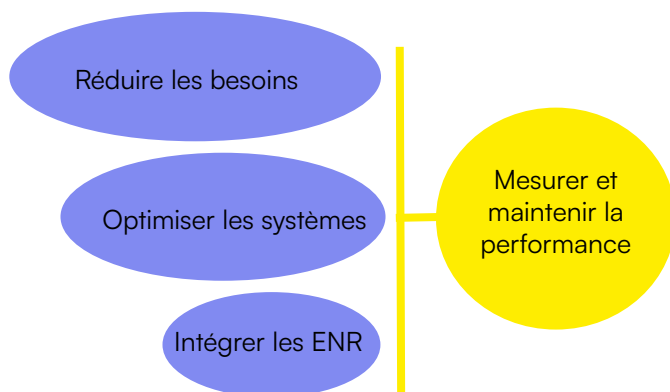
Comment traduire la stratégie en interventions concrètes : choisir et dimensionner les leviers les plus pertinents, puis vérifier et suivre la performance réelle pour garantir une rénovation durable.



La phase d'action représente le moment où la stratégie de rénovation et où les ambitions énergétiques se traduisent en interventions concrètes. Agir, c'est décider avec discernement, coordonner les efforts, et garantir que chaque choix technique contribue à un objectif commun : la performance durable du bâti, l'amélioration du cadre de vie de ses occupants, et l'exemplarité environnementale du centre de formation rénové.

Dans cette perspective, l'acte de rénover ne consiste pas simplement à juxtaposer des travaux, mais à construire une trajectoire cohérente d'amélioration continue, fondée sur la compréhension fine du bâtiment, la maîtrise de ses usages et le suivi de ses performances réelles.

Toute démarche performante s'appuie sur une logique de hiérarchisation et de cohérence : réduire les besoins, optimiser les systèmes, intégrer les énergies renouvelables, mesurer et maintenir la performance. Ces quatre axes constituent la colonne vertébrale de la rénovation énergétique.



Cette démarche systémique permet de maîtriser les interactions entre les lots et d'éviter les interventions contre performantes. La cohérence d'ensemble prévaut sur la multiplicité des gestes : elle seule garantit la performance globale du projet et sa durabilité.

Spécificités des travaux des centres de formation

Dans un centre de formation, l'action doit s'adapter à la pluralité des fonctions et à la variabilité des usages. La salle de cours, l'atelier, le réfectoire, l'internat ou le bureau n'imposent ni les mêmes contraintes, ni les mêmes rythmes d'occupation. Cette diversité suppose une approche à la fois globale et rationnelle, où la planification s'articule autour des cycles pédagogiques, des contraintes de maintenance et de la disponibilité des espaces.

Chaque typologie impose des priorités spécifiques en matière de confort, de technique et de budget. L'analyse par zone fonctionnelle permet de cibler les leviers d'action les plus pertinents.



LES SALLES DE COURS

Les salles de cours nécessitent une enveloppe performante et bien isolée, une ventilation silencieuse et efficace, un éclairage naturel équilibré par une régulation automatique, et une gestion des apports solaires et des protections performantes.



LES ATELIERS

Les ateliers sont des espaces à conditions variables. Les taux d'occupation des ateliers étant parfois bas, une réflexion peut être faite pour des ateliers partagés à cloison modulaire pour optimiser l'utilisation des espaces.

Ils exigent un traitement acoustique rigoureux, une ventilation performante et une isolation renforcée des plafonds pour limiter les déperditions thermiques dans les grands volumes chauffés.



EXEMPLE : CAS DES ATELIERS

La **qualité de l'air** y est primordiale : l'air peut se charger de poussières, fumées, vapeurs chimiques ou gaz, qui irritent les yeux, le nez et les voies respiratoires, et provoquent à long terme asthme, bronchites ou maladies pulmonaires chroniques. Les poussières fines, qu'elles soient minérales ou organiques, peuvent être inhalées profondément et certaines sont cancérogènes.

Suivant l'activité de l'atelier, **une ventilation adaptée** doit être prise en compte, en plus d'une ventilation centrale performante :

- Pour les ateliers de soudure, des bras aspirants captent les fumées et gaz à la source. *La présence des bras aspirantes ne garantit pas leur utilisation, un usage rigoureux systématique est impératif pour la sécurité des occupants.*
- Pour les ateliers de menuiseries, des aspirateurs localisés captent directement les poussières de bois à la source. *Les brumisateurs ne sont pas adaptés à ces milieux, n'éliminant pas les risques d'incendie, pouvant également créer des dépôts collants.*
- Pour les ateliers générant de la poussière minérale, (carrelage, maçonnerie, taillage de pierre, etc.) des brumisateurs sont installés pour absorber les poussières (en les alourdissant). *L'installation de ces systèmes ne garantit pas leur efficacité, un bon dimensionnement est nécessaire pour éviter la diffusion des poussières.*

Pour l'**acoustique**, même si les apprenant en atelier sont placés dans les conditions réelles des chantiers souvent bruyants, il est néanmoins nécessaire de veiller au bien être acoustique, en les équipant de casques anti-bruit en complément du traitement acoustique des ateliers lors de la rénovation.

Pour le **confort d'été**, les skydomes ouvrables sont un levier simple et efficace pour évacuer la chaleur en période estivale. Il est possible de profiter de cette solution à condition de garantir la sécurité incendie, l'étanchéité, et un fonctionnement simple pour les équipes. Combinés aux entrées basses de l'air par les portes de l'atelier, la sortie haute d'air créer un flux d'air traversant précieux lors des fortes chaleurs.

L'efficacité et la qualité des systèmes dans le temps dépend de leur entretien et maintenance.



LES INTERNATS

Les internats et hébergements d'intervenants mobiliseront une attention particulière au confort thermique, acoustique et à la sécurité. Les couloirs doivent être ventilés en fonction de leur catégorie (nombre de personnes), du système SSI, puis traités pour limiter les déperditions thermiques, tandis que les niveaux sonores dans les chambres doivent être maîtrisés. La production d'eau chaude sanitaire représente un poste majeur ; elle doit être optimisée. Les protections solaires doivent être bien étudiées et leur usage efficace, et le chauffage correctement régulé.



CUISINE / RESTAURATION

Les cuisines et les espaces de restauration nécessitent une ventilation adaptée à la densité d'occupation et aux émissions internes. La récupération de chaleur sur les rejets d'air des cuisines, la bonne étanchéité et la maîtrise des apports internes participent à la sobriété du lieu. Les extracteurs de fumée au-dessus des zones de cuisson doivent être étudiés en trouvant le juste équilibre en efficacité et coût énergétique. Ces lieux peuvent également accueillir des dispositifs d'affichage énergétique et de sensibilisation des usagers, transformant chaque déplacement en moment d'apprentissage.

Travail sur l'enveloppe

L'enveloppe du bâtiment constitue la première frontière entre les conditions climatiques extérieures et le confort intérieur. Elle joue un rôle essentiel dans la maîtrise des pertes énergétiques, la régulation hygrothermique et la perception du confort par les usagers. L'efficacité d'une enveloppe rénovée repose autant sur la qualité du diagnostic initial que sur la précision de la mise en œuvre. Mal appréhendés ils peuvent compromettre l'ensemble des gains énergétiques attendus, ainsi que le confort lors de la saison d'été.

L'isolation doit viser la continuité et l'homogénéité. Qu'elle soit mise en œuvre par l'extérieur ou par l'intérieur, elle doit intégrer la gestion des interfaces entre matériaux et la maîtrise des transferts d'humidité. Le choix du matériau doit s'appuyer sur une évaluation technique et environnementale : conductivité, résistance à la vapeur d'eau, inertie, durabilité et impact carbone. Une bonne isolation acoustique est primordiale pour améliorer le confort et la qualité des ambiances intérieures.

L'étanchéité à l'air constitue le corollaire indispensable de l'isolation. Trop souvent négligée, elle conditionne la stabilité thermique et la salubrité des locaux. Des tests d'infiltrométrie permettent d'en vérifier la qualité et de localiser les fuites éventuelles. Ces mesures objectives doivent être intégrées dans le protocole de réception énergétique.

Les menuiseries, vitrages et protections solaires extérieures complètent ce dispositif. Leur sélection doit concilier performance thermique, protection contre la chaleur, confort lumineux et acoustique, et sécurité. Dans un centre de formation, où la température influe sur l'attention, la concentration et la qualité d'apprentissage, cette maîtrise fine du confort visuel (contrôle de l'éblouissement, gestion de la lumière naturelle) et thermique (baisse de la température intérieure) prend une dimension pédagogique autant que fonctionnelle.

Enfin, la recherche d'un équilibre entre performance énergétique hiver et confort d'été conduit à analyser l'ensemble des actions et solutions dans une vision globale et une recherche de la performance à partir de l'état du bâtiment existant, de ses contraintes, de ses points forts et de ses faiblesses au regard des objectifs à atteindre.



L'INERTIE THERMIQUE

L'inertie thermique désigne la capacité d'une paroi à stocker de l'énergie sous forme de chaleur. Les matériaux à forte inertie en contact avec l'ambiance amortissent les variations de température.

Elle dépend de la nature des matériaux utilisés pour sa structure. Ce sont les matériaux lourds, et notamment le béton, la pierre, la brique qui possèdent les meilleures qualités vis-à-vis de l'inertie thermique.

L'hiver, elle agit en limitant ces variations rapides de température, en conservant la chaleur, et réduisant ainsi les besoins en chauffage, particulièrement le matin. Elle garantit une température intérieure plus stable, offrant un meilleur confort aux occupants. L'été, elle est particulièrement utile pour atténuer les effets des fortes chaleurs en été, sous réserve de pouvoir déstocker la chaleur par aération en ouvrant les baies par exemple, dès lors que la température extérieure diminue.

Pour qu'un bâtiment ait une bonne inertie thermique globale, il faut :

- des matériaux de construction lourds, des surfaces d'échanges des parois avec l'ambiance intérieure suffisamment larges et homogènes et des parois suffisamment épaisses ;
- une approche axée sur l'inertie globale du bâtiment, et ne pas se perdre dans le rôle et les contributions de chaque matériau le constituant.



Optimiser les systèmes techniques

Une enveloppe performante ne produit pleinement ses effets que si les systèmes techniques sont adaptés à ses nouveaux équilibres. Le chauffage, la ventilation, l'éclairage et la régulation doivent fonctionner en synergie, au service du confort et de la sobriété.

Le **chauffage** doit être dimensionné sur la base de besoins réels, calculés après rénovation, en tenant compte des apports internes et des profils d'usage. Ce poste est un levier important de décarbonation grâce à l'électrification des systèmes de production qui devrait être la priorité envisagée, pour réduire les consommations d'énergies fossiles. Les chaudières à condensation, les pompes à chaleur ou les réseaux hybrides trouvent leur pertinence dans des configurations où la température d'émission peut être abaissée.



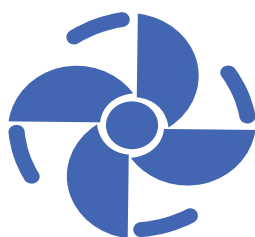
Lorsqu'un réseau de chaleur est disponible à proximité et majoritairement alimenté par des énergies renouvelables ou de récupération, il constitue une option prioritaire à étudier. Il permet de bénéficier d'une chaleur décarbonée avec une complexité d'exploitation limitée côté site. L'arbitrage repose principalement sur le coût du MWh livré, la stabilité du réseau et la compatibilité avec le phasage du projet. Cette solution est fortement dépendante du contexte local.



OBSERVATION - Régulation inexistante

Dans de nombreux CFA, le chauffage fonctionne en continu, sans programmation ni adaptation aux périodes d'occupation. Cette absence de régulation entraîne des consommations inutiles, une sollicitation permanente des équipements et des déséquilibres de température entre locaux. La mise en place d'une régulation adaptée (programmation horaire, loi d'eau avec sonde extérieure, régulation par zone ou par pièce) est impérative pour ajuster la production et la distribution aux besoins réels, de réduire significativement les consommations énergétiques.

La **régulation** doit être centralisée et pilotée, c'est-à-dire capable d'adapter la puissance aux conditions climatiques et aux taux d'occupation.



La **ventilation**, pilier de la qualité de l'air intérieur, assure la santé et le confort des occupants. Elle doit être équilibrée, efficace et silencieuse. Les systèmes double flux à haut rendement sont particulièrement adaptés aux espaces à forte densité, comme les salles de cours ou les internats, à condition d'être entretenus régulièrement.

Dans les ateliers, une ventilation naturelle assistée, combinée à un tirage thermique et à des ouvertures traversantes, favorise un confort d'été passif et une réduction du recours aux dispositifs actifs. Pour assurer la qualité de l'air intérieur en visant les recommandations du décret de surveillance QAI (800 ppm de CO₂), il faut prévoir un renouvellement de 25 à 30 m³/h par élève soit 750 à 900 m³/h pour une salle de classe.

Ventilation nocturne et sécurité

Pendant la journée, les bâtiments accumulent la chaleur due au soleil, aux appareils électriques, à l'air chaud extérieur ou à l'activité humaine. La ventilation naturelle nocturne permet de l'évacuer avant le prochain réchauffement diurne.

Les différentes configurations des bâtiments permettent très souvent une ventilation nocturne, que ce soit par les ouvertures traversantes des différentes salles, l'utilisation des fenêtres de toits ou sur d'autres façade par tirage thermique etc.

Cependant l'exploitation de cette solution dépend de l'usage des occupants et des gestionnaires, notamment sur les aspects de sécurité.

Des dispositifs anti-effractions existent pour empêcher toutes intrusion, permettant de ventiler la nuit en toute sécurité.



Crédit — Adaptemaville —
Groupe Scolaire Mermoz
de Rosny-sous-Bois

Enfin, les systèmes de **gestion technique centralisée** (GTC/ GTB) permettent le pilotage des différents équipements (chauffage, refroidissement, protections solaires, éclairage, ventilation, ECS, ENR éventuelles), permettent une analyse fine des consommations, la détection de mauvais usages ou de pannes. Ils favorisent l'exploitation raisonnée du bâtiment et l'appréhension des écogestes, et peuvent également être intégrés aux enseignements pour sensibiliser les apprentis à la performance réelle.

Cependant, la présence d'équipement intelligent ne suffit pas pour améliorer l'efficacité énergétique. Il est primordial que le suivi de l'exploitation soit sérieusement mené. Pour cela, il faut veiller à éviter une sur-complexité des systèmes qui rendrait la gestion et l'exploitation impossible, et perdrait tout intérêt énergétique.



Vérification de performance

La vérification de la performance réelle constitue la garantie de sérieux et de crédibilité du projet.

Il ne s'agit plus aujourd'hui d'espérer des économies, mais de les mesurer et de les vérifier. Des outils de suivi doivent être intégrés dès la conception : capteurs de température et d'hygrométrie, comptages d'énergie par usage, suivi des taux de CO₂ et des niveaux de confort lumineux.

Ces dispositifs permettent de confronter les résultats aux objectifs fixés, d'ajuster les réglages en continu (lorsque l'équipement est piloté). Les données mesurées sont aussi un formidable outil pour permettre au gestionnaire du bâtiment de sensibiliser les usagers, autant à la bonne utilisation des différents systèmes, qu'au bon réflexe de confort et sobriété.

Elles permettent de facilement détecter des usages excessifs, qui dégradent la performance, et de rapidement les corriger.

La réception énergétique doit être considérée comme une étape à part entière, distincte de la réception administrative. Elle permet de valider les performances atteintes, de vérifier la qualité d'exécution, la cohérence des réglages et la conformité du bâtiment aux attentes initiales.

Les protocoles de mesure et de vérification (M&V) peuvent s'inspirer des standards de référence internationaux, adaptés au contexte des centres de formation. L'enjeu est d'ancrer la culture de la preuve et de la donnée dans les pratiques du réseau, afin que chaque rénovation puisse devenir un cas de référence.



En complément de la mesure et de la vérification de la performance énergétique, les indicateurs de confort doivent également être suivis afin de garantir des conditions intérieures réellement satisfaisantes pour les occupants. Un suivi rigoureux permet d'évaluer l'impact des travaux sur le confort à partir de données mesurées, en objectivant les niveaux atteints et en identifiant les évolutions significatives.

Couplé au suivi de la performance énergétique, il constitue un outil pertinent pour analyser les comportements des utilisateurs, mettre en évidence d'éventuels effets rebond et servir de support à des actions de sensibilisation et de pédagogie.

Mesure de performance fin de travaux : méthode de mesure de performance de l'enveloppe

Pourquoi mesurer la performance réelle ?

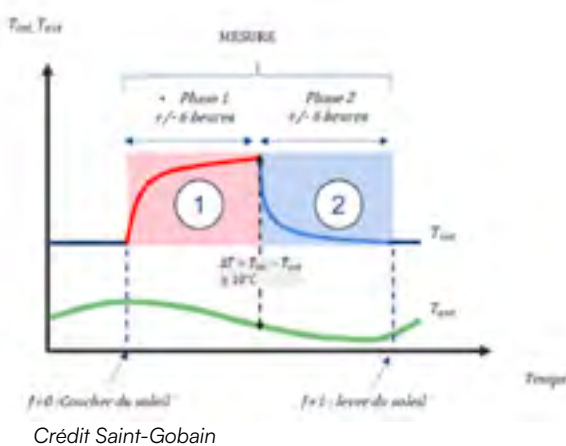
Les outils réglementaires reposent sur des calculs conventionnels et des hypothèses simplificatrices. Si ces calculs sont indispensables, l'écart entre la performance théorique et la performance réelle reste souvent méconnu.

La mesure de la performance de l'enveloppe apporte une réponse concrète. Elle capte le comportement thermique réel du bâtiment tel qu'il a été construit ou rénové. Cette donnée objective devient un levier stratégique pour garantir la performance de l'enveloppe après travaux.



Comment fonctionne la méthode QUB® ?

La méthode QUB® mesure la performance thermique en analysant la réponse du bâtiment face à une variation contrôlée de sa température. Le protocole se déroule la nuit pour éviter les perturbations solaires et dure entre 8 et 12 heures.



PHASE 1 - Chauffe contrôlée (première moitié de nuit) : Des chauffages électriques mobiles sont installés dans la pièce à mesurer, le système de chauffage principal étant désactivé. Ils élèvent la température intérieure de $+2$ à $+4^\circ\text{C}$ par rapport à la température de départ, en maintenant un écart d'au moins $+10^\circ\text{C}$ avec l'extérieur.

PHASE 2 - Refroidissement libre (seconde moitié de nuit) : À mi-parcours, les chauffages se coupent automatiquement et la température intérieure décroît naturellement.

Durant l'intégralité de la mesure, des capteurs enregistrent en continu les températures intérieure et extérieure ainsi que les flux de chaleur qui passent à travers les parois instrumentées avec des fluxmètres.

L'analyse de ces données permet d'obtenir :

- U_c [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$] : coefficient de transmission thermique des parois opaques (murs, plancher haut, plancher bas),
- U_g [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$] : coefficient de transmission thermique du vitrage seul.



Pendant la mesure, le bâtiment peut rester occupé ou meublé, seule la pièce instrumentée doit être libre durant la nuit de la mesure. Point d'attention, selon la taille du local, il conviendra de s'assurer de la possibilité d'une montée en température uniforme. À ce jour, plus de 840 mesures QUB® ont été documentées.



Crédit Saint-Gobain

Quand utiliser ces mesures ?

Avant travaux : la mesure permet d'établir un diagnostic précis de l'état initial et valide la cohérence avec l'étude thermique. Elle peut aider à prioriser les investissements.

Après travaux : elle vérifie que le bâtiment atteint les performances prévues dans l'étude thermique et aide à repérer d'éventuelles non-conformités. L'analyse thermographique réalisée lors de chaque mesure offre un contrôle visuel de la qualité d'exécution.

Avant/après travaux : comparer deux mesures permet de quantifier précisément les gains de performance, notamment dans le cadre de garanties de résultats énergétiques.

Un outil complémentaire prometteur

La mesure physique ne remplace ni les bureaux d'études thermiques ni les architectes, et ne dispense pas d'un suivi rigoureux des chantiers. Elle apporte un indicateur physique objectif, directement mesuré, qui constitue une preuve tangible de la performance atteinte.

Cette donnée concrète participe à justifier les investissements, à garantir les performances attendues et à renforcer la confiance nécessaire dans les projets de rénovation.

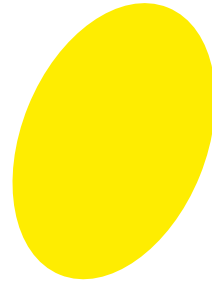
Mesure de performance : l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et réseaux de ventilation

L'ÉTANCHÉITÉ DE L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT

La mesure de l'étanchéité à l'air se réalise selon la norme NF EN ISO 9972, complétée en France par le fascicule de documentation FD P50-784. Le test, appelé infiltrométrie consiste à mettre le bâtiment en pression ou dépression pour mesurer les fuites d'air parasites traversant l'enveloppe.

L'indicateur utilisé est le Q4Pa-surf, qui représente le débit de fuite traversant l'enveloppe sous une pression différentielle de 4 pascals, ramené à la surface déperditive (hors plancher bas), et s'exprime en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$.

Pour les CFA en rénovation, aucune exigence de résultat n'est imposée réglementairement, mais la valeur par défaut utilisée dans les calculs thermiques est de $1,70 \text{ m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$. Viser un résultat en dessous de ce seuil constitue un bon objectif d'amélioration énergétique.



L'ÉTANCHÉITÉ DES RÉSEAUX AÉRAULIQUES

Les mesures d'étanchéité des réseaux aérauliques sont définies selon plusieurs normes ainsi que le fascicule documentaire FD E51-767. Le test consiste à mettre en pression le réseau isolé pour calculer le facteur de perméabilité f en $\text{m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$, qui est ensuite comparé aux seuils des classes d'étanchéité (depuis la classe A jusqu'à la classe C, la classe A étant la moins bonne et la classe C la meilleure).

Dans les ateliers (soudure, peinture, menuiserie, mécanique) où les besoins de ventilation sont importants, l'étanchéité des réseaux est cruciale pour garantir les débits d'extraction nécessaires à la sécurité et à la qualité de l'air.

L'étanchéité à l'air, qu'elle concerne l'enveloppe ou les réseaux, est essentiel pour la mesure et la vérification de la performance énergétique du bâtiment.

Suivre la performance

Cette partie traite du différentiel entre performance conçue et performance réelle. Elle vise à sécuriser les usages dans la durée en agissant sur trois leviers indissociables : organisation, maintenance, comportements.

Les dispositions présentées relèvent de décisions de maîtrise d'ouvrage. Elles doivent être formalisées avant la réception des travaux et validées par la direction du centre. Sans portage explicite de la gouvernance, les responsabilités d'exploitation se diluent et la performance réelle ne peut pas être tenue.

Organisation : structurer l'exploitation

Désignation d'un référent exploitation bâtiment

Un référent exploitation bâtiment doit être désigné dès la phase de mise en service. Ce référent agit par délégation explicite de la direction. Il ne se substitue pas aux arbitrages stratégiques, mais dispose d'un mandat clair pour :

- centraliser les demandes liées au confort et au fonctionnement,
- arbitrer les ajustements courants,
- faire appliquer les règles d'exploitation,
- refuser les modifications locales non conformes,
- alerter la direction en cas d'incompatibilité durable entre usages et fonctionnement du bâtiment.

Formalisation des règles d'exploitation

Les règles d'exploitation constituent le cadre de référence opposable du bâtiment. Elles doivent être écrites, validées par la direction et diffusées.

A minima, elles portent sur :

- les consignes de température par type de zone,
- les plages horaires de fonctionnement des systèmes,
- les règles d'ouverture des fenêtres selon le type de ventilation,
- les règles d'usage des protections solaires.

Clarification des niveaux d'intervention

Trois niveaux doivent être clairement distingués et communiqués :

- usage autorisé par les occupants,
- réglages techniques réservés à la maintenance ou au référent,
- modifications durables nécessitant validation

Temporalité de mise en place

Les dispositions organisationnelles doivent être mises en place selon une temporalité précise :

- en conception (E2—E3) : vérification de la compatibilité entre solutions techniques, usages futurs et capacités d'exploitation ;
- avant réception : définition des principes d'exploitation et des niveaux de confort cibles ;
- à la mise en service : désignation du référent, diffusion des règles, clarification des circuits de décision ;
- après 3 à 6 mois d'usage : ajustements fondés sur le retour d'expérience

Maintenance : maintenir la cohérence du système dans le temps

Adéquation entre systèmes installés et moyens de maintenance

La maintenance conditionne directement la performance réelle après rénovation.

L'adéquation doit être vérifiée dès la phase de conception entre :

- la complexité des systèmes installés,
- les compétences disponibles,
- les moyens contractuels,



Certains choix techniques (niveau d'automatisation, multiplicité des zones, interfaces complexes) engagent durablement la capacité d'exploitation. En l'absence de moyens adaptés, ces choix constituent un risque d'exploitation.

Priorités techniques à maintenir en condition opérationnelle

Trois postes concentrent l'essentiel des dérives observées en exploitation :

- Ventilation
 - o Débits réels cohérents avec les usages,
 - o Entretien régulier des filtres,
 - o Sondes fonctionnelles (CO₂, hygrométrie).
- Régulation
 - o Horaires alignés avec l'occupation réelle,
 - o Cohérence des consignes entre zones,
 - o Suppression des réglages contradictoires accumulés.
- Interfaces utilisateurs
 - o Lisibles et compréhensibles,
 - o Possibilités de modifications limitées,
 - o Prévention des contournements.

Une maintenance focalisée uniquement sur les pannes visibles ne permet pas de tenir la performance.

Comportements : encadrer les usages pour éviter les dérives

Les comportements observés en exploitation qui dégradent la performance lorsque les règles sont absentes, floues ou inapplicables.

Écogestes compatibles avec le fonctionnement du bâtiment

À encourager uniquement lorsque cohérents avec les systèmes installés :

- Usage raisonné des protections solaires pour le confort d'été,
- Gestion et pilotage des éclairages et des équipements
- Respect des règles d'ouverture des fenêtres,
- Signalement des inconforts ou dysfonctionnements via un circuit identifié.

Comportements à proscrire explicitement

Doivent être interdits car contre-productifs :

- Coupure manuelle de systèmes automatisés,
- Neutralisation des sondes ou d'automatismes
- Modifications répétées de consignes pour traiter un inconfort ponctuel.

Analyse des comportements comme signaux

Un comportement déviant doit être analysé comme un signal :

- Inconfort non traité,
- Règle d'exploitation inadaptée,
- Absence de canal de remontée efficace.

Répartition des responsabilités en exploitation

Il est indispensable de distinguer :

- La maintenance contractuelle (entretien, vérifications, réglages prévus),
- L'exploitation interne (arbitrages d'usage, application des règles),
- Le suivi post-livraison (réglages fins issus du retour d'usage, commissionnement).

Documentation d'exploitation

La documentation doit être exploitable en situation réelle :

- Schémas fonctionnels simplifiés,
- Repérage clair des équipements,
- Accès rapide aux informations utiles à l'exploitation courante.

Une documentation exhaustive mais incompréhensible n'est pas utilisée et n'a aucun effet opérationnel, elle doit rester simple (moins de 30 pages utiles)



Faire de la rénovation un support pédagogique pour les apprenants

La rénovation énergétique d'un CFA peut également constituer une opportunité pédagogique pour les apprenants. Les travaux réalisés sur le bâtiment, qu'il s'agisse de l'amélioration de l'enveloppe, de la modernisation des systèmes, de la mise en place de dispositifs de régulation ou encore de l'installation d'une GTB (gestion technique du bâtiment), peuvent servir de support concret pour illustrer les principes de performance énergétique. Le suivi des consommations et des indicateurs de performance après travaux est également un exemple pour être intégré dans des activités pédagogiques, permettant aux apprenants d'observer les effets réels des actions menées. En les associant à la compréhension des équipements et au suivi du fonctionnement du bâtiment, il est possible de les sensibiliser à l'importance d'une exploitation sobre et performante, et de les impliquer progressivement dans une démarche de responsabilité vis-à-vis des usages énergétiques du site.

Bâtiments plus résilients et enjeux environnementaux

Les leviers présentés dans cette partie complètent les actions sur l'enveloppe et les systèmes. Ils ne sont ni systématiques ni universels : leur pertinence dépend fortement du contexte du site, du programme et des capacités d'exploitation.

L'enjeu est d'identifier ceux qui apportent un bénéfice réel et durable, et d'écarter ceux qui relèveraient d'un affichage sans impact mesurable.

Adaptation au changement climatique (au-delà du confort thermique)

6 aléas climatiques	10 risques associés pour le bâtiment
• Les vagues de chaleur • Les vagues de froid • Les sécheresses • Les fortes pluies • Les vents forts • Les orages-grêle	• La surchauffe du bâti • La qualité de l'air • Les inondations • La submersion • Les tempêtes • Les sécheresses • Le retrait-gonflement des argiles • Les mouvements de terrains • Le manque d'eau • Les feux de forêts

L'adaptation au changement climatique ne se limite pas au confort d'été. Elle interroge la capacité du bâtiment à rester fonctionnel face à des conditions plus extrêmes et plus fréquentes : vagues de chaleur, sécheresses, pluies intenses, vents.

L'adaptation au changement climatique vise à garantir la continuité d'usage du bâtiment.

Une fois les aléas identifiés il est nécessaire de les croiser à l'exposition et à la vulnérabilité afin d'obtenir une analyse de risque complète sur le portefeuille immobilier ou sur le bâtiment.

Source : Guide méthodologique pour l'adaptation des bâtiments existants au changement climatique, Plan Bâtiment Durable, février 2026

Carbone : réduire l'impact sur l'ensemble du cycle de vie

Le poids carbone d'une rénovation dépend autant des choix de conception que des modalités de mise en œuvre. Il ne peut être évalué uniquement à travers les consommations énergétiques futures, mais doit être analysé sur l'ensemble du cycle de vie du projet.

Ce levier est particulièrement pertinent lorsque :

- plusieurs scénarios de rénovation sont envisageables ;
- des choix structurants de matériaux ou de surfaces sont en débat ;
- l'investissement initial est significatif.

Il permet d'objectiver les arbitrages et d'éviter des décisions fondées uniquement sur des gains énergétiques partiels.



Économie circulaire et gestion des déchets

Dans un projet de rénovation, l'économie circulaire consiste d'abord à considérer le bâtiment existant comme un gisement de ressources. Le levier est pertinent lorsque le projet comporte des démolitions, des restructurations ou des réaménagements significatifs.

La démarche repose sur trois principes éprouvés :

- **anticiper** via un diagnostic PEMD lorsque requis, afin d'identifier les potentiels réels de réemploi et de recyclage ;
- **organiser** le chantier comme un système de flux maîtrisés (tri, stockage, traçabilité) ;
- **concevoir** des ouvrages démontables et réparables pour limiter les impacts futurs.

Ce levier est à privilégier sur les éléments de second œuvre et les équipements, pour lesquels les retours d'expérience sont les plus nombreux. Il devient marginal ou peu pertinent en présence de polluants ou lorsque la logistique ne permet pas un stockage sécurisé.

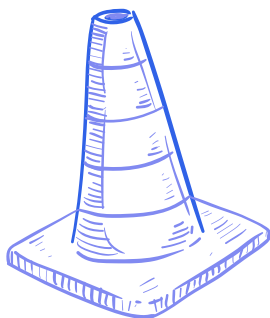
Végétalisation des toitures et façades

La végétalisation contribue à la résilience lorsqu'elle répond à des fonctions clairement identifiées : amélioration de l'isolation, confort d'été, gestion de l'eau, qualité des espaces extérieurs, support pédagogique. Elle doit être abordée avec pragmatisme, en fonction des capacités structurelles du bâtiment et des moyens d'entretien disponibles, peut être tout à fait appropriée pour des écoles situées en ville, dans des espaces très minéralisés, puisqu'elle contribuera à créer un environnement rafraîchissant pour atténuer les effets des îlots de chaleur.

Les solutions les plus robustes sont généralement :

- la végétalisation des sols et des abords,
- les toitures végétalisées extensives lorsque la portance le permet,
- des palettes végétales adaptées au climat local, nécessitant peu d'arrosage.

Une végétalisation pertinente est une végétalisation simple, durable et maintenable, intégrée dès la conception et non ajoutée en fin de projet.



Crédit Sopranature - Lycée Mounier à Grenoble (38) / Lycée du Grésivaudan à Meylan (38)

La biodiversité constitue un levier pertinent lorsqu'elle s'appuie sur l'existant et sur des pratiques de gestion différenciée. Dans la majorité des projets, les actions les plus efficaces sont aussi les plus simples : préserver les arbres et haies, limiter l'artificialisation, réduire l'éclairage nocturne, diversifier les strates végétales.

Lorsque des espèces protégées sont identifiées, un diagnostic écologique permet d'adapter le calendrier et les modalités de travaux. En dehors de ces cas, la priorité reste la sobriété des aménagements et la facilité d'entretien.

Intégrer la biodiversité dans un projet de CFA BTP permet :

- de respecter le Code de l'environnement (protection des habitats et des espèces) ;
- d'améliorer le confort (ombrage, qualité de l'air) et l'image de l'établissement ;
- d'enrichir la pédagogie par des ateliers de terrain (suivi des oiseaux, botanique, insectes).

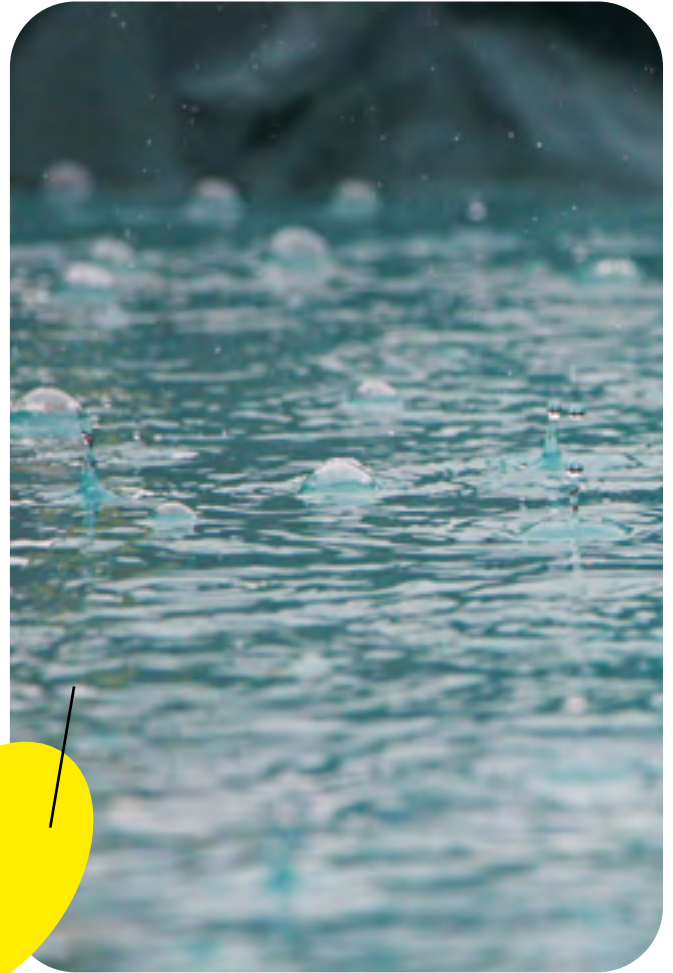
Gestion intégrée des eaux pluviales (GIEP)

La gestion intégrée des eaux pluviales vise à ralentir et infiltrer l'eau à la parcelle, en cohérence avec la nature du sol, la topographie et les usages. La GIEP permet de lutter contre le ruissellement, de réduire la charge sur les réseaux, de prévenir les inondations et de recharger la nappe. Elle contribue aussi au rafraîchissement microclimatique et peut devenir un support pédagogique (mesure de la perméabilité, sensibilisation aux cycles de l'eau).

Les solutions éprouvées combinent :

- désimperméabilisation,
- Noues et jardins de pluie,
- Dispositifs de rétention ou de stockage temporaire.

Une étude de sol et un dimensionnement adapté aux pluies locales conditionnent la réussite du dispositif. L'objectif n'est pas de maximiser les ouvrages, mais d'atteindre un fonctionnement stable et lisible.



Gestion de l'eau - Maîtriser les consommations et les charges

La gestion de l'eau consommée constitue un levier de résilience à double titre : réduction des charges d'exploitation et sécurisation des usages dans un contexte de tension croissante sur la ressource. Ce levier concerne la quasi-totalité des centres de formation, indépendamment du niveau d'ambition environnementale du projet.



Préservation et régénération de la biodiversité

La biodiversité rend des services essentiels : régulation thermique, filtration de l'air et de l'eau, pollinisation, fertilité des sols. Les cinq principales pressions qui causent sa perte sont l'artificialisation des terres, l'exploitation non durable, la pollution, les espèces exotiques envahissantes et le changement climatique.

Détails et analyse de prises de décisions » page 92

De la stratégie à l'action

Au terme de ce parcours, une conviction s'impose : rénover un centre de formation aux métiers du BTP n'est pas une simple opération de travaux, mais une démarche stratégique, progressive et cohérente.

Comprendre a permis de poser le pourquoi : des enjeux climatiques, économiques et sociaux convergents, un cadre réglementaire de plus en plus exigeant, et une complexité propre aux CFA, où coexistent des typologies d'espaces et des usages très divers.

Anticiper a rappelé que la réussite se joue en amont : identifier les problématiques sensibles (confort d'été, qualité de l'air, maîtrise des consommations, acoustique) et s'appuyer sur l'audit énergétique comme socle fiable et partagé du projet.

Décider, c'est sécuriser chaque étape du parcours : enchaîner les phases dans le bon ordre, construire une ingénierie financière solide et engager la structure dans la durée sans la fragiliser.

Agir, enfin, consiste à traduire cette stratégie en une trajectoire d'amélioration continue, structurée autour de quatre axes complémentaires : réduire les besoins, optimiser les systèmes, intégrer les énergies renouvelables, puis mesurer et maintenir la performance réelle.

Cette logique systémique prévaut toujours sur la multiplication des gestes isolés, et s'adapte à la pluralité des espaces (salles de cours, ateliers, internat, restauration). Ces fondations posées, il reste à entrer dans le concret. Les pages qui suivent présentent les solutions techniques détaillées, levier par levier, ainsi que des exemples de réalisations, pour aider chaque centre à choisir et dimensionner les interventions les plus pertinentes. Au-delà de la performance du bâtiment, c'est l'occasion de faire du centre rénové un véritable support pédagogique et un démonstrateur d'exemplarité pour les professionnels du BTP de demain.

Mieux intégrer la pédagogie dans les espaces rénovés

Anticiper les usages pour renforcer l'engagement et les pédagogies actives

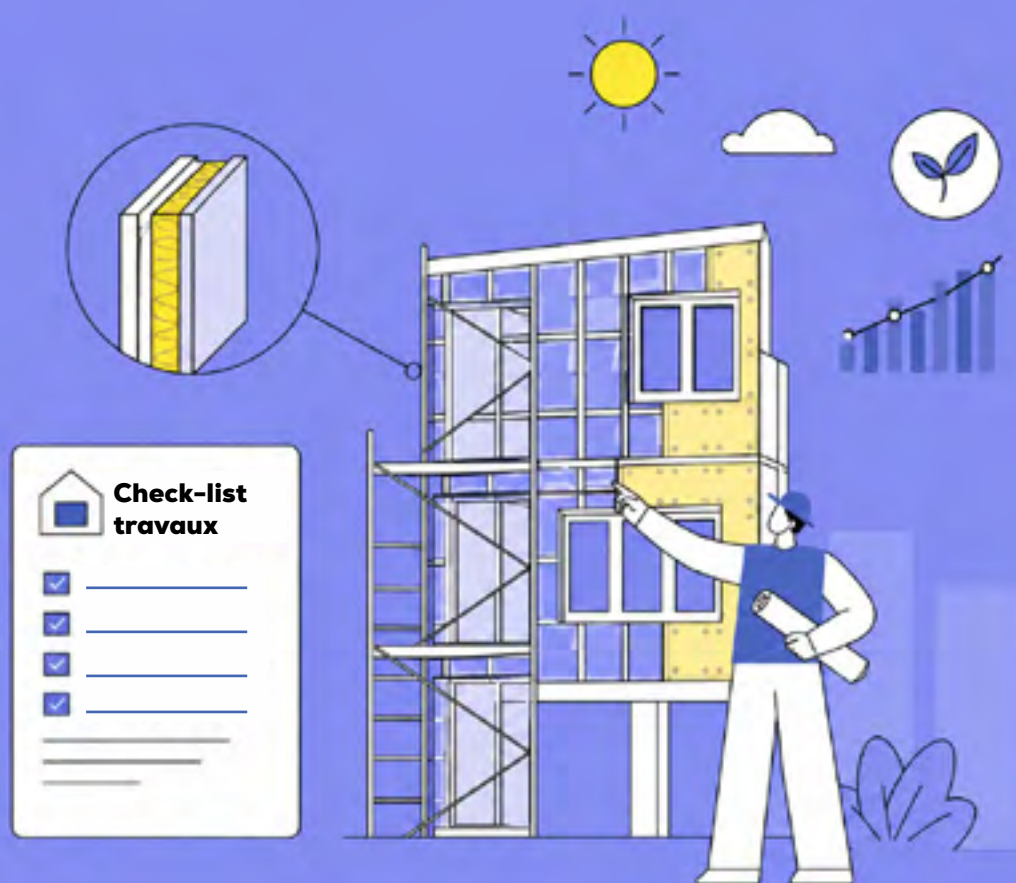
Les espaces de formation influencent directement la manière d'apprendre, de collaborer et de s'engager. Les choix architecturaux et d'aménagement organisent les comportements, les circulations et les interactions. Dans les CFA, les rénovations représentent une opportunité importante pour soutenir le développement des pédagogies actives, de l'apprentissage par projet et des dynamiques collaboratives.

Cela peut notamment passer par :

- Une attention portée au confort sensoriel et à l'ambiance de travail qui respecte les principes de la biophilie pour améliorer l'attention, le bien-être et la qualité des apprentissages ;
- Une architecture qui favorise la transparence et l'observation entre pairs : cloisons vitrées permettant de voir les projets en cours, ateliers visibles depuis certaines circulations ou espaces de démonstration centraux favorisant l'inspiration et l'apprentissage par observation ;
- Des circulations actives et des espaces intermédiaires favorisant les échanges informels : couloirs aménagés avec assises, wifi et prises, possibilités d'exposition de prototypes, murs pédagogiques ou zones de micro-échanges entre apprenti·e·s ;
- Une meilleure prise en compte des usages numériques actuels et futurs : prises accessibles dans les zones de travail, wifi renforcé, écrans mobiles ou possibilité de filmer un geste professionnel pour faciliter les démonstrations, les retours réflexifs et les débriefings ;
- Des espaces modulables qui permettent différentes configurations pédagogiques : tables sur roulettes pour passer rapidement d'un temps collectif à des îlots de travail, une zone de démonstration ou un travail en mode projet ;
- Des supports d'écriture et d'affichage intégrés directement au bâti : murs effaçables, surfaces aimantées, affichage des étapes de fabrication ou niches pédagogiques intégrées aux ateliers afin de rendre visibles les apprentissages et les processus ;
- Des ateliers techniques confortés dans leur rôle pédagogique : les rénovations peuvent permettre de renforcer certaines dimensions pédagogiques complémentaires, par : l'intégration d'un espace de démonstration filmable, d'un coin test-erreur, d'un mur d'analyse des réalisations ou d'une zone de débriefing autour des productions ;
- Des aménagements qui favorisent l'autonomie des apprenant·e·s : espaces ressources en libre accès, rangement visible du matériel ou zones de travail autonomes qui facilitent l'initiative et l'apprentissage actif.

Une rénovation pensée avec les usages pédagogiques et les usager·ère·s permet de créer des espaces plus évolutifs, plus engageants et mieux adaptés aux transformations des métiers et de la formation.

Solutions Techniques détaillées et exemples de réalisations



Travail sur l'enveloppe

Isolation de l'enveloppe

Isolation des toitures

Une isolation performante en toiture permet de limiter fortement les déperditions thermiques, car l'air chaud a naturellement tendance à s'échapper par les parties supérieures du bâtiment. De plus, la toiture est la partie la plus exposée d'un bâtiment au rayonnement solaire, recevant une quantité importante de chaleur.

L'isolation performante réduit fortement la déperdition du premier poste dans les bâtiments à grande surface de toiture, quel que soit sa typologie.



Crédit : Unilin - Rénovation des toitures-terrasses d'une résidence universitaire à Aubière



Crédit : Unilin - Rénovation de toiture en pente au cœur de l'écosystème Darwin à Bordeaux



Crédit : Unilin - Rénovation acoustique de la salle de Carquefou

Isolation des murs

- **Par l'extérieur :** supprime les ponts thermiques, améliore l'inertie intérieure et ne réduit pas la surface des salles, idéale pour rénover sans perturber les cours.



Crédit : Soprema



Crédit : Soprema- Salle polyvalente La Vigneraie

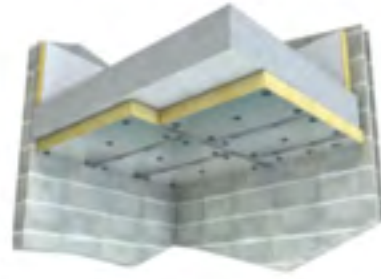


Crédit : Isover

- **Par l'intérieur :** solution utile lorsque l'ITE est impossible (façades classées, limites de propriété), mais réduit légèrement la surface intérieure et nécessite une bonne gestion des réseaux et finitions.

Isolation des planchers bas

Isolation thermique par le dessous (vide sanitaire, sous-sol) pour limiter les pertes vers les zones non chauffées, souvent oubliées dans les CFA.



Crédit : Isover

Parois vitrées et ouvrants

Remplacement des parois vitrées : Fenêtre, Verrière, Mur Rideaux ...

Des vitrages performants limitent les déperditions de chaleur tout en réduisant les infiltrations d'air. Ils contribuent également à améliorer le confort des occupants en diminuant les sensations de paroi froide et en atténuant les nuisances sonores extérieures. Le remplacement ou la pose de paroi vitrées performantes (que ce soit double ou triple vitrage suivant les cas) peut s'effectuer sur différents de châssis et matériau.



Crédit : Velux — Université Jean Moulin à Lyon



La rénovation de cet espace central de circulation offre désormais à chacun une vue sur le ciel, ainsi qu'un éclairage naturel permanent et un climat intérieur sain, en remplacement d'un atrium sombre bien que doté d'un éclairage artificiel. Afin d'obtenir une verrière de type shed, le pan le plus court de la verrière double, orienté Sud, est constitué de panneaux pleins isolants, permettant une lumière plus douce et diffuse au Nord.

Crédit : Velux — Université Jean Moulin à Lyon

À propos de TL / SW

Les grandes surfaces vitrées favorisent la pénétration de la lumière naturelle à l'intérieur d'un local bâtiment, mais peuvent induire une élévation significative de la température intérieure en été selon l'exposition.

Deux facteurs caractérisent les propriétés physiques des vitrages :

- **FS : facteur solaire** (également noté g ou Sw) est la fraction de l'énergie solaire incidente qui traverse une paroi vitrée et participe aux apports de chaleur à l'intérieur, en incluant le rayonnement directement transmis et celui réémis vers l'intérieur après absorption dans le vitrage
- **TL : Transmission lumineuse**, est le rapport entre flux lumineux traversant la paroi vitrée et le flux incident sur celle-ci. Il définit la part de lumière visible que traverse le vitrage.

Une subtile combinaison entre ces deux facteurs permet minimiser tout inconfort en saison estivale et garantir une performance énergétique la plus optimale possible.

Les vitrages à contrôle solaire empêchent jusqu'à 70% du rayonnement solaire de passer à travers le vitrage, en filtrant la chaleur du rayonnement mais en gardant la transmission de la lumière.





Quelques repères sur le positionnement des ouvertures dans un bâtiment :

Une orientation Nord bénéficie toute l'année d'une lumière homogène et du rayonnement solaire diffus. Il est judicieux de placer des ouvertures vers le nord lorsque le local nécessite une lumière homogène, peu variable ou diffuse.

Une orientation Est profite du soleil le matin mais le rayonnement solaire est alors difficile à maîtriser car les rayons sont bas sur l'horizon. L'exposition solaire y est faible en hiver, cependant en été, l'orientation présente une exposition solaire supérieure à l'orientation sud.

Une orientation Ouest assure une insolation directe en soirée. Il est très intéressant d'orienter à l'ouest les locaux où l'on souhaite un éclairage doux et chaleureux. Toutefois, il y a un risque réel d'éblouissement et les gains solaires ont tendance à induire des surchauffes l'été (puisque les vitrages tournés vers l'ouest apportent des gains solaires l'après-midi et en soirée).

Une orientation Sud entraîne un éclairage important. Les pièces orientées au sud bénéficient d'une lumière plus facile à contrôler et d'un ensoleillement maximal en hiver, car le soleil bas (environ 17°) pénètre profondément dans la pièce. En été, la hauteur solaire est plus élevée (60°) et la pénétration du soleil est donc moins profonde. Et contrairement à ce que l'on pourrait penser, les apports solaires l'été sur une surface verticale (et donc les risques de surchauffes) sont nettement inférieurs au sud qu'à l'est ou à l'ouest ou le soleil levant, ou couchant, est plus bas dans le ciel. Les apports solaires en fin de journée venant se cumuler à l'apport thermique des activités ayant eu lieu dans la journée, le confort thermique lorsque l'orientation des parois vitrées est à l'ouest est souvent plus difficile à maîtriser.



Crédit : Saint-Gobain

Installation et optimisation des skydomes

Les systèmes de lanterneaux applicables sur les toitures de bâtiments tertiaires permettent d'éviter un substantiel inconfort de travail par la suppression de l'effet de serre (c'est à dire protéger du soleil en été, mais laisser entrer la chaleur en hiver, grâce à une orientation optimisée), tout en optimisant l'éclairage naturel et en assurant l'étanchéité et la sécurité.



Remise en état des menuiseries extérieures

La remise en état des joints, remplacement des vitrages ou quincailleries pour améliorer l'étanchéité à l'air et éviter des pertes d'énergie sans remplacement complet peut être une possibilité suffisante suivant l'état de l'existant.



Crédit : Bluetek / Adexsi

Installation de rideau d'air / Création de sas

Le rideau d'air crée une barrière thermique entre l'intérieur et l'extérieur. Il limite ainsi les variations brutales de température et les déperditions de chaleur liées au renouvellement d'air, ce qui le rend particulièrement efficace dans les zones à forte fréquentation.

La création de SAS (deux portes) d'entrée permet d'installer un espace tampon à l'entrée pour limiter les déperditions d'air chaud en hiver et l'entrée d'air chaud en été, efficace dans les grands bâtiments, lorsque les portes restent ouvertes longtemps.

La combinaison des deux solutions est souvent pertinente.

Réduction du bruit dans les locaux

Le traitement acoustique des parois participe à l'action globale de réduction des nuisances sonores. Il ne dispense pas de mettre en œuvre les autres moyens techniques et organisationnels de réduction du bruit.

Pour un bon traitement, différents types d'absorbants acoustiques sont placés stratégiquement dans tout l'espace. Une approche holistique est la meilleure façon de réduire le niveau global du son et la propagation du son dans un local, en combinant plusieurs solutions.

Des barrières acoustiques limitent la propagation latérale du bruit entre groupes. Pour cela des cloisons ou écrans acoustiques entre zones sont installés, habillés de panneaux muraux absorbant résistant aux chocs.



Des îlots ou baffles suspendus permettent cette absorption lorsque les hauteurs sous plafond sont importantes



Crédit - SEPR Ecole des métiers



Crédit - Ecophon

Protections solaires et automatisatisation

Plusieurs types de protections solaires peuvent être déployés :

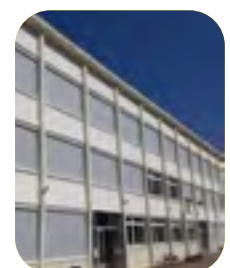


Screen ZIP (store en toile extérieure zippé sur les côtés) :

Ce dispositif assure un confort d'été optimal en bloquant jusqu'à 98 % du rayonnement solaire, tout en conservant un apport lumineux important et non éblouissant lorsque le store est fermé. Il se distingue également par sa facilité d'installation quel que soit le bâtiment, sa grande résistance au vent, son intégration esthétique grâce à un coffre compact et des coloris variés, et son faible besoin d'entretien.



Crédit SOMFY



Crédit SOMFY - Ecole de Poissy



Crédit MERMET - Ecole Ronsard



Brise-soleil orientable (BSO) :

Les brise-soleil orientables (BSO) offrent un compromis optimal entre confort d'été, luminosité et vision vers l'extérieur, avec une gestion automatisée « sun tracking » qui ajuste les lames pour maintenir une protection solaire efficace tout en évitant l'éblouissement et en facilitant la ventilation nocturne, les lames laissant passer l'air et jouant un rôle dissuasif contre les effractions. Leur principal inconvénient réside dans des coûts de maintenance plus élevés sur le long terme.



Crédit : SOMFY



Volet roulant :

Le volet roulant offre un confort d'été élevé, une occultation totale ou partielle adaptée aux pièces de nuit, ainsi qu'une sécurité renforcée. Il se distingue également par son coût abordable et son entretien minimal à long terme.



Crédit : SOMFY

Toutes ces protections solaires sont évidemment motorisables et automatisables (GTC et intégration dans une GTB). Il est possible de différencier des pièces ou des zones selon les usages, temps/jours d'occupation, et d'ajuster des scénarios pour coller « au plus juste » des usages (tout en permettant une dérogation si l'utilisateur le souhaite).

Brise-soleil fixe :

Les protections solaires fixes, comme les brise-soleil, sont des dispositifs installés à l'extérieur des bâtiments, généralement au niveau des ouvertures (fenêtres, baies vitrées) ou en saillie au-dessus des façades. Par l'ombre portée sur les vitrages, elles réduisent les apports solaires en été. Leur conception nécessite une étude précise, prenant en compte les risques de surchauffe et d'éblouissement selon la position du soleil et les saisons.

Brise-soleil horizontaux (dits « en casquette ») : particulièrement adaptés pour les façades au sud. Sur cette orientation les protections solaires extérieurs prévu doivent avoir un $Sw < 0,35$.

Brise-soleil verticaux (lames debout ou couchées) : adaptés pour protéger les façades exposées à l'est et à l'ouest.

Brise-soleil photovoltaïque : peuvent également être installés, protégeant ainsi des rayonnements solaires tout en assurant une production d'électricité. Conçu comme une solution passive, il régule naturellement les apports solaires : en été, il limite l'ensoleillement direct et réduit les besoins en climatisation ; en hiver, il laisse passer les apports solaires utiles.



Crédit : Tellier Brise-Soleil - Ecole « Le Barry » à Le Muret (31)



Crédit : Tellier Brise-Soleil - Cité Scolaire « Camille Vernet » à Le Muret (31)



Crédit : Edilians - CAMIF-HABITAT à Niort

Optimiser les systèmes techniques

Apporter des repères concrets sur les systèmes énergétiques à prioriser, à dimensionner avec rigueur selon les besoins énergétiques réduits après isolation de l'enveloppe, et à articuler entre eux.

Une enveloppe performante ne produit pleinement ses effets que si les systèmes techniques sont adaptés à ses nouveaux équilibres. Le chauffage, la ventilation, l'éclairage et la régulation doivent fonctionner en synergie, au service du confort et de la sobriété.

Le chauffage doit être dimensionné sur la base de besoins réels, calculés après rénovation, en tenant compte des apports internes et des profils d'usage.

Ce poste est un levier important de décarbonation grâce à l'électrification des systèmes de production qui devrait être la priorité envisagée, pour réduire les consommations d'énergies fossiles.

Les chaudières à condensation, les pompes à chaleur ou les réseaux hybrides trouvent leur pertinence dans des configurations où la température d'émission peut être abaissée. La régulation doit être centralisée et pilotée, c'est-à-dire capable d'adapter la puissance aux conditions climatiques et aux taux d'occupation.

Production de chaud et de froid

Raccordement au RCU et RFU ou modernisation

Connexion ou mise à jour du raccordement à un réseau de chaleur urbain (RCU) ou réseau de froid urbain (RFU), si disponible, pour bénéficier d'une énergie souvent plus décarbonée.

Dans les systèmes déjà existants, s'assurer de l'optimisation des échangeurs et régulations de la sous-station raccordée au réseau, pour améliorer le rendement et le pilotage.



Crédit : Institut des métiers et des techniques - IMT Grenoble

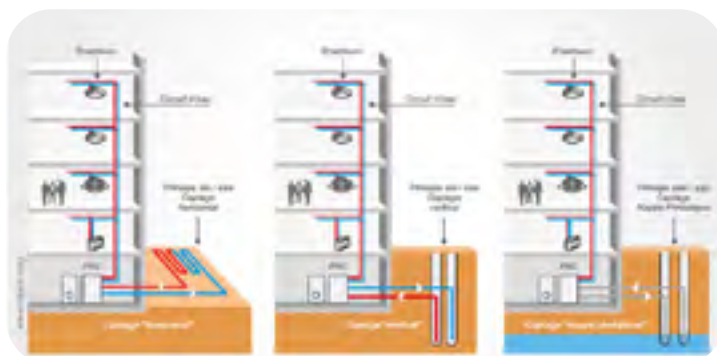
Pompe à chaleur

Pompe à chaleur produisant de l'eau chaude pour le chauffage et éventuellement l'ECS. Suivant les besoins et les possibilités du projet, plusieurs solutions existent.

PAC EAU/EAU

Permet d'extraire la chaleur de l'eau souterraine, et produire une chaleur à température constante qui garantit un fonctionnement stable et une grande efficacité.

Il est également très facile de faire du rafraîchissement passif « free cooling » très performant.





LA GÉOTHERMIE

La géothermie constitue un choix structurant, pertinent uniquement dans le cadre d'une rénovation globale, avec une enveloppe performante et des besoins thermiques stabilisés. Elle engage le site sur le long terme et nécessite une capacité d'investissement initial élevée. Des études géologiques et hydrogéologiques approfondies sont indispensables. Le dimensionnement de la PAC doit être précis et cohérent avec les émetteurs. Le commissionnement est un point critique pour garantir la performance réelle. L'accessibilité des équipements pour la maintenance doit être anticipée dès la conception. L'exploitation est stable si la conception est rigoureuse. La maintenance est spécialisée mais peu fréquente. L'investissement initial est élevé, compensé par une forte stabilité des charges énergétiques et un excellent bilan carbone sur 20 à 30 ans.

Remarque : Certaines configurations de bâtiment sont moins adaptées pour de la production géothermique. C'est le cas lorsque les différents bâtiments sont fortement dispersés sur des grandes distances par rapport au forage, et que des travaux de VRD importants sont nécessaires pour le raccordement.



LE RAFRAICHISSEMENT

Le remplacement de système de chauffage à énergie fossile par des systèmes thermodynamiques (type VRV notamment) offre la possibilité de produire du froid. Cependant, il est impératif dès la conception du projet de définir leur rôle surtout par rapport à la question du refroidissement. Les utiliser comme la solution prioritaire et unique pour gérer l'inconfort été serait une erreur. Leur usage doit être optimisé et adapté pour une utilisation en dernier recours lors de périodes caniculaires.

L'ensemble des autres travaux (isolation, protections solaires, ventilation, surventilation, amélioration du ressenti) sont indispensables et prioritaires. Ils limitent le besoin de refroidir systématiquement l'air et réduisent les dépenses énergétiques. Attention, à ne pas les occulter par facilité et mise en œuvre d'une technologie de refroidissement.



LA BIOMASSE

La biomasse peut constituer une solution pertinente pour des centres de grande taille présentant des besoins thermiques importants et continus, notamment pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Elle suppose toutefois une logistique combustible structurée, des espaces de stockage adaptés, une gestion des cendres et une exploitation quotidienne plus contraignante que les systèmes classiques. Cette filière nécessite des compétences spécifiques côté maintenance et une organisation robuste. Elle est donc rarement adaptée aux CFA de taille moyenne ou aux sites multi-usages.

L'intégration d'énergies renouvelables dans un centre de formation ne constitue pas un objectif en soi. Elle intervient en aval d'un travail sur la sobriété, l'enveloppe et les systèmes. Certaines énergies renouvelables ne relèvent pas de solutions génériques applicables à l'ensemble des centres de formation. Leur pertinence dépend fortement du contexte territorial, des besoins thermiques du site et des capacités d'exploitation. Elles doivent être étudiées au cas par cas.

PAC AIR/EAU

Permet de réchauffer un circuit d'eau alimentant ensuite les locaux à traiter par le biais d'émetteurs aérauliques. C'est la solution la plus courante en remplacement de chaudière à gaz. Cette solution peut être dimensionnée soit pour remplacer entièrement le système à énergie fossile présent, soit dimensionné à 50% de la puissance totale en gardant le système actuel en appoint.

Hybridation du chauffage

L'hybridation du chauffage dans la rénovation de CFA permet d'optimiser la performance énergétique en faisant fonctionner la pompe à chaleur en priorité lorsque les conditions extérieures sont favorables, et la chaudière gaz en appoint lors des pics de froid. Cette complémentarité améliore le rendement global du système tout en limitant les coûts d'installation et d'exploitation. Elle est généralement techniquement adaptée aux bâtiments existants, en valorisant les équipements en place tout en sécurisant la continuité de service.

Chaudière à gaz

Solution encore pertinente dans certains cas, en dernier recours.

Remplacer les chaudières anciennes par un modèle à condensation haut rendement, récupérant la chaleur latente des fumées, dans les cas où il y a une impossibilité de changement d'énergie.

Les chaudières pulsatoires à très haut rendement (combustion pulsée) sont également adaptées aux besoins fluctuants et aux bâtiments multi-usages.



POURQUOI ENVISAGER LA DÉCENTRALISATION?

Afin de limiter les pertes de distribution et adapter le chauffage à l'occupation réelle, il est judicieux d'envisager une décentralisation du chauffage. Cela peut se faire avec des PAC AIR/AIR, adaptées aux petits espaces, et réactives aux besoins fluctuants. Dans les situations où la pompe à chaleur n'est pas adaptée, les chaudières pulsatoires peuvent être déployées ayant un encombrement réduit et une évacuation des fumées simplifiées.

Puits climatique

Le puits climatique permet un rafraîchissement de l'air entrant dans le bâtiment grâce aux échanges avec le sol. Un gain très important sur le confort est démontré. Il apporte une diminution significative des besoins de chauffage et de rafraîchissement d'un bâtiment en s'appuyant sur une énergie renouvelable, gratuite et illimitée : la géothermie.

Le puits climatique est un réseau de canalisations enterrées qui fonctionne comme un échangeur air-sol. Utilisé pour le renouvellement d'air, cet échangeur s'appuie sur le différentiel entre la température de l'air capté à l'extérieur du bâtiment (air ambiant) et celle du sol qui tend à être constante lorsqu'une profondeur suffisante est atteinte (1m50 / 2m). Couplé à une centrale de traitement d'air (CTA), le puits climatique contribuera à diffuser dans le bâtiment un air tempéré, filtré et confortable.



Crédit - Elixair Rénovation école militaire de Bourges (18), mise en œuvre d'un puits climatique de 12000m³h pour assurer le confort en période chaude et économisé en besoin de chauffage.

Emission et distribution

Le remplacement de systèmes de production doit impérativement être accompagné d'une adaptation des émissions.

Conserver les émetteurs existants changement de production

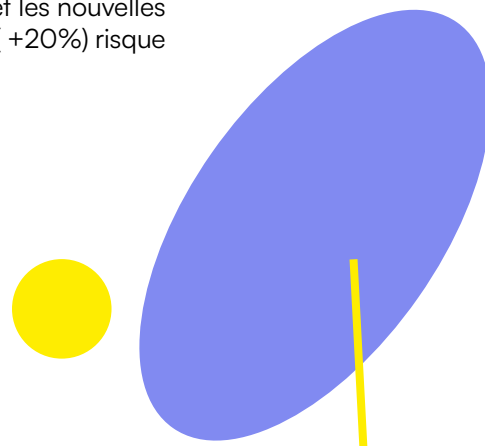
Dans certains cas de changement de système de production, il est possible de conserver les émetteurs existants suivant leur dimension, et suivant les systèmes. Cette adaptation doit être bien étudiée pour bien optimiser l'efficacité du nouveau système et les nouvelles températures d'eau du réseau. Attention : Une puissance surdimensionnée (+20%) risque de dégrader la performance.

Mise en place de plafond à basse température

Chauffage intégré au plafond, adapté aux espaces avec peu de murs disponibles ou aux ateliers propres. La faible hauteur de ces émetteurs permet de s'intégrer dans des volumes très contraints, en augmentant la hauteur sous plafond finie, tout en apportant une grande flexibilité d'aménagement.

Remplacement de radiateurs par des émetteurs à air propulsé

Idéal pour grands ateliers où une diffusion rapide et homogène de chaleur est nécessaire, où lorsque on recherche une décentralisation du chauffage. Cette solution dépend de l'usage de certaines salles et doit être étudiée avec précaution pour éviter les pertes de chaleurs.



Brasseur d'air - déstratificateur

L'accélération de la vitesse de l'air peut être créée naturellement par des courants d'air traversants (ouverture de fenêtres). Mais pour être plus constante et plus efficace cet effet peut être obtenu par des brasseurs d'air, qui sont des dispositifs mécaniques conçus pour cet objectif. Leur rôle principal n'est pas de refroidir directement l'air, mais de favoriser le mouvement de celui-ci, créant ainsi une sensation de rafraîchissement pour les occupants par un abaissement de la température ressentie.

Le fonctionnement des brasseurs d'air repose sur la mise en mouvement de grandes quantités d'air à faible vitesse. En agissant sur les couches d'air à proximité des personnes, ces dispositifs augmentent l'évaporation à la surface de la peau, améliorant le ressenti et créant une « sensation de fraîcheur » sans modifier la température ambiante réelle.



En combinaison avec des systèmes de ventilation naturelle ils peuvent optimiser les flux d'air, maximisant ainsi les échanges thermiques. Ils contribuent à une meilleure homogénéisation des températures (éviter la stratification des températures) favorisant la répartition de l'air dans toute la salle. Ils sont énergétiquement économes car la puissance électrique pour faire circuler l'air est beaucoup moins importante que celle nécessaire pour le refroidir. Leur efficacité est conditionnée à leur bonne mise en oeuvre en tenant compte de leur puissance, leur diamètre et du ratio nombre de brasseurs d'air par rapport au volume du lieu dans lequel ils sont installés.

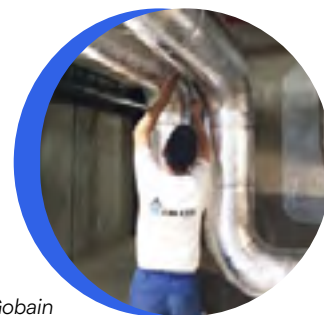
Comparés aux systèmes de refroidissement thermodynamiques, ils n'entraînent pas à eux seuls une diminution directe de la température de l'air. Mais, dès lors qu'ils sont mis en oeuvre avec l'ensemble des autres systèmes passifs (en particulier les protections solaires sur les parois vitrées) ils peuvent suffire à maintenir un environnement agréable en période de chaleur. Dans certains cas où les locaux disposeraient déjà de systèmes de refroidissement, ils en réduisent l'usage aux cas les plus extrêmes.

Attention : Dans les ateliers, des précautions doivent être prises afin d'éviter le refoulement ou la remise en circulation d'un air chargé en particules par interaction avec les systèmes d'extraction des poussières et des polluants. Les dispositifs de brassage et d'extraction doivent être conçus pour rester compatibles et ne pas perturber l'efficacité du captage.

Distribution et réseau hydraulique

Rénovation des réseaux de distribution / calorifugeage

Adapter le réseau de distribution pour permettre de faire de la régulation du chauffage dans les différentes pièces. Il est parfois nécessaire de revoir le réseau de distribution (passage de monotube à bitube, création de nouvelle zone avec plus de boucle de chauffage par exemple) suivant les configurations existantes. De plus, isolation thermique des tuyaux et organes hors volume chauffé pour éviter les pertes de chaleur.



Crédit : Saint-Gobain

Désembouage curatif et équilibrage du réseau curatif

Le désembouage consiste à nettoyer les dépôts de boue qui s'accumulent dans le circuit avec le temps. Ces boues sont principalement dues au calcaire et à la corrosion présente dans vos tuyauteries. Le désemboueur permet d'éliminer les impuretés en circulation. Cela améliore le rendement et la durabilité du réseau, et optimise la répartition.

L'équilibrage des réseaux hydrauliques consiste à ajuster les débits arrivant aux émetteurs afin de garantir une répartition adéquate de l'énergie dans le système. C'est particulièrement important lorsque le réseau est important, et qu'il dessert de nombreux émetteurs.

Mise en place de pompes à débit variable

Un réseau à débit variable est un réseau équipé d'organes de régulation tels que des vannes deux voies motorisées, robinets thermostatiques permettant de moduler le débit des terminaux en fonction des besoins. La réduction du débit se fait ainsi par la fermeture des organes de régulation des terminaux.

La pompe s'adapte aux débits variables, réduit sa consommation énergétique, optimise son temps de fonctionnement et la régulation.

Eau Chaude Sanitaire (ECS)

Production

ECS thermodynamique collectif et ballon de stockage thermique centralisé

Production centralisée via pompe à chaleur sur air ou eau, adaptée aux gros volumes d'ECS (internats, vestiaires avec douches). Permet de réduire fortement les consommations par rapport aux solutions gaz ou électriques. Stockage d'ECS dans une centrale unique pour alimenter plusieurs zones (internats, vestiaires d'ateliers). Solution adaptée quand les besoins sont concentrés et réguliers.

Ballon ECS thermodynamique individuel

Petites unités autonomes (pompe à chaleur intégrée) pour fournir de l'eau chaude à un local isolé (ex. sanitaire d'atelier éloigné). Pertinent pour la décentralisation de l'ECS lorsqu'une production importante est nécessaire. Cette solution permet de réduire fortement la consommation électrique par rapport à un ballon classique.

ECS solaire thermique

Le solaire thermique est adapté aux sites présentant des besoins continus et identifiés en eau chaude sanitaire, notamment internats, vestiaires et restauration. Il est à éviter lorsque les usages sont intermittents ou fortement saisonniers. L'arbitrage repose sur la stabilité des besoins ECS et la simplicité du réseau existant. Le taux de couverture solaire doit rester maîtrisé afin d'éviter les surchauffes et les surdimensionnements. Le système d'appoint doit être clairement défini et correctement intégré. La régulation doit rester simple et compréhensible par les équipes d'exploitation. Une maintenance rigoureuse est nécessaire avec un suivi du fluide caloporteur, des échangeurs et de la régulation.

Economiseurs sur les robinetteries eau chaude lave-mains

Réducteurs de débit et mousseurs pour limiter la consommation d'eau chaude, très efficaces dans les CFA où la fréquentation des sanitaires est élevée.



Bouclage ECS

La boucle sanitaire permet de mettre en place une canalisation supplémentaire, régulée par un circulateur. Cette dernière permet de générer un retour d'eau, normalement stagnante après fermeture du point de puisage, jusqu'au ballon d'origine. Cette technique est idéale pour éviter les pertes habituellement engendrées par le circuit d'eau classique, indispensable dans les grands CFA.

Ventilation

La ventilation, pilier de la qualité de l'air intérieur, assure la santé et le confort des occupants. Elle doit être équilibrée, efficace et silencieuse. Les systèmes double flux à haut rendement sont particulièrement adaptés aux espaces à forte densité, comme les salles de cours ou les internats, à condition d'être entretenus régulièrement. Dans les ateliers, une ventilation naturelle assistée, combinée à un tirage thermique et à des ouvertures traversantes, favorise un confort d'été passif et une réduction du recours aux dispositifs actifs.

Ventilation naturelle par ouverture automatique des ouvrants

La motorisation et l'automatisation de l'ouverture et fermeture des fenêtres, en fonction de la température de la pièce est très efficace pour améliorer la qualité de l'air intérieur dans les salles de classes, encore plus lorsque celle-ci est automatisée en fonction de l'humidité relevée et/ou du taux de CO₂. Elle permet également de rafraîchir les locaux en été en utilisant les écarts de température nuit/jour.

L'ouverture des fenêtres pendant 15 minutes durant les pauses a permis de réduire jusqu'à 50 % les pics de concentration de CO₂ obtenus avant la pause, rabaisant les teneurs en CO₂ en-dessous du seuil recommandé de 1 000 ppm. De même, après une activité émissive, moins de 10 minutes d'ouverture des fenêtres de toit suffisent à décontaminer l'air des salles de classe après une activité émissive en COV (peinture, collage, coloriage avec feutres, etc.)



Crédit : LUSSO et LAURENT Architectures/ VELUX — Expérimentation à l'Ecole Marie Curie à Saint- Germain-en-Laye (78).

Les skydômes ouvrables sont un levier simple et efficace pour améliorer le confort d'été dans les ateliers des CFA, à condition de garantir la sécurité incendie, l'étanchéité, et un fonctionnement simple pour les équipes. Ils doivent être intégrés dans une stratégie de ventilation naturelle globale, combinant entrées basses et sorties hautes pour créer un flux d'air traversant.

Purificateur d'air performant



Ces systèmes décentralisés apportent un complément à l'amélioration de la qualité de l'air intérieur, notamment pour celles des ateliers, sans renouvellement de l'air par l'extérieur. Plusieurs types et tailles de filtres permettent de s'adapter aux différents types de particules polluantes et selon les nécessités. Couplés à de la mesure en temps réel, ils adaptent leur débit pour éviter une surconsommation énergétique.

Crédit : Zehnder - Société CEFA à Soultz-sous-Forêts (67)

CTA double-flux avec récupération

Une CTA ventilation double flux permet de respecter ces niveaux sans générer d'inconfort thermique et acoustique, et de ne pas pénaliser la consommation énergétique.

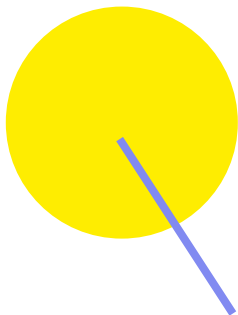
La ventilation double-flux est également très importante à considérer dans les ateliers techniques. De plus ces systèmes permettent de récupérer la chaleur fatale de l'air extrait dans certains ateliers où il y a une production de chaleur. Cette chaleur est utilisée pour préchauffer l'air entrant, améliorant le confort ambiant de l'atelier.

Les systèmes doivent être capables de se réguler sur des sondes installées dans les différentes pièce (CO₂, hygrométrie...), pour assurer une consommation énergétique maîtrisée et une bonne QAI.

Attention : Dans les ateliers, mêmes si de la récupération de chaleur est pertinente, le recyclage de l'air extrait est à proscrire. Dans les cuisines, une centrale dédiée et indépendante du reste du réseau doit être prévue pour le traitement des graisses et odeurs.



Crédit : Zehnder - Gymnase Val-de-Vesle (51), certification Passivhaus

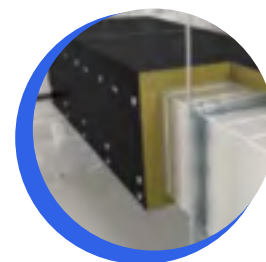


La récupération de chaleur constitue un levier majeur de réduction des consommations. Elle peut concerner l'air extrait des locaux, les rejets thermiques de certains équipements ou les process des ateliers et des cuisines. Dans de nombreux projets, elle présente un meilleur rapport coût/efficacité que des solutions de production EnR. Elle doit être analysée systématiquement avant toute création de production énergétique nouvelle.

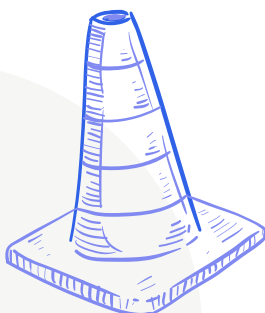
Gaines et bouches aérauliques

Le calorifugeage des gaines évite les pertes thermiques sur l'air soufflé, surtout si les gaines passent en zones non chauffées. De même l'équilibrage des réseaux et optimisation des débits doit être programmé pour vérifier l'efficacité de l'installation. Il uniformise la distribution d'air dans toutes les salles, assurant une bonne qualité d'air dans chaque pièce.

Attention : Une mesure réelle des débits doit indiquer un écart inférieur à 10% du débit prévu.



Crédit : Saint-Gobain



Eclairage

L'éclairage, quant à lui, représente un levier d'économie immédiat et une composante essentielle du bien-être. La qualité de la lumière naturelle en classe est essentielle pour favoriser l'apprentissage, améliorer la concentration et réduire la fatigue visuelle.

Il est essentiel de favoriser l'éclairage naturel autant que possible afin de réduire le recours à l'éclairage artificiel et d'assurer un confort visuel adapté aux usages. C'est particulièrement utile dans les ateliers où la configuration des espaces et de la toiture, permet de maîtriser les apports solaires tout en garantissant une lumière douce et diffuse (puits de lumières, verrières en shed).



LED avec détection de présence

Les luminaires à LED réduisent fortement les consommations énergétiques de l'éclairage. Combinés à des détecteurs de présence. Une bonne gestion des systèmes grâce à des programmes horaires est utile pour éviter des aberrations.



L'éclairage artificiel devrait respecter les seuils d'éclairement recommandés suivant la nature des activités.

Valeurs recommandées par la norme EN 12464-1 :

- Ateliers de précision : 750 à 1000 Lux
- Bureaux : 500 Lux
- Circulation : 100 à 200 Lux

Pilotage et régulation

Enfin, les systèmes de gestion technique centralisée (GTC/GTB) permettent le pilotage des différents équipements (chauffage, refroidissement, protections solaires, éclairage, ventilation, ECS, ENR éventuelles), restituent une analyse fine des consommations, la détection de mauvais usages ou de pannes. Ils favorisent l'exploitation raisonnée du bâtiment et l'appréhension des écogestes, et peuvent également être intégrés aux enseignements pour sensibiliser les apprentis à la performance réelle.

Horloge et amélioration de la gestion de ventilation et l'éclairage

Programmation horaire, réglage des consignes de température et débits adaptés à l'usage réel. Coupe la ventilation en dehors des horaires d'occupation, évitant les consommations inutiles.

GTC / GTB avec suivi consommations et alertes

Les BACS permettent de centraliser tous les systèmes de régulation en un seul point, y relier les consommations énergétiques, ainsi que les alertes pour la maintenance des bâtiments. Ils permettent d'optimiser les consommations en fonction des taux d'occupation, de coordonner la production et la distribution, ce qui idéal pour les CFA avec occupation variable. Ils peuvent également servir d'outil pédagogique pour les filières techniques du CFA.

Leur fonctionnement doit être optimisé suivant l'usage du bâtiment chaque jour, notamment en période d'occupation. Par exemple, s'assurer que les équipements sont bien à l'arrêt pour ceux qui doivent l'être (éclairage, ventilation, etc.), et que d'autres continuent d'optimiser les conditions du bâtiment (pilotage des protections solaires le week-end pour éviter une surchauffe et un inconfort le lundi matin).

Cependant, la présence d'équipement intelligent ne suffit pas pour améliorer l'efficacité énergétique. Il est primordial que le suivi de l'exploitation soit sérieusement mené. Pour cela, il faut veiller à éviter une sur-complexité des systèmes qui rendrait la gestion et l'exploitation impossible, et perdrait tout intérêt énergétique.

Attention : une GTB trop complexe avec un nombre d'indicateur excessif risque de nuire à la qualité du suivi. Se limiter à un nombre réduit d'indicateur (moins d'une dizaine).



Intégrer des BACS dans la rénovation

Dans le cadre de la rénovation des centres de formation BTP (CFA), les systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments (BACS) constituent un levier majeur pour maîtriser des consommations énergétiques souvent élevées et hétérogènes.

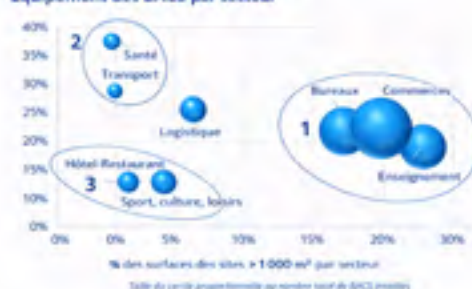
Véritables « cerveaux » du bâtiment, les BACS permettent de piloter finement les équipements techniques des CFA — ateliers, salles de cours, zones administratives — en tenant compte des usages réels, des périodes d'occupation et des contraintes pédagogiques.

En coordonnant chauffage, ventilation, éclairage et,

le cas échéant, production d'énergie locale, ils contribuent à améliorer à la fois la performance énergétique des bâtiments et le confort des apprenants et formateurs, notamment dans les ateliers techniques soumis à de fortes sollicitations.

Intégrer des BACS lors des projets de rénovation des CFA permet ainsi de transformer ces bâtiments en outils pédagogiques performants, exemplaires de la transition énergétique et adaptés aux exigences réglementaires actuelles et futures

Équipement des BACS par secteur



Sous-compteurs thermiques et électriques

Permettent un suivi détaillé des consommations pour identifier les dérives.

Production d'énergie renouvelable

Photovoltaïque et autoconsommation

L'intégration d'une énergie renouvelable intervient après le traitement de la sobriété, de l'enveloppe et des systèmes. Une EnR ne corrige pas un bâtiment mal conçu.

Le choix d'une filière doit reposer sur les usages réels, mesurés, et sur la capacité d'exploitation du site sur vingt à trente ans. Toute EnR doit faire l'objet d'un raisonnement en coût global intégrant investissement, maintenance, renouvellement des équipements et évolution des usages. La simplicité, l'accessibilité des équipements et la lisibilité pour les équipes de maintenance constituent des critères de décision à part entière.

Une valorisation pédagogique n'est pertinente que si les systèmes sont instrumentés, compréhensibles et réellement intégrés au fonctionnement du site.



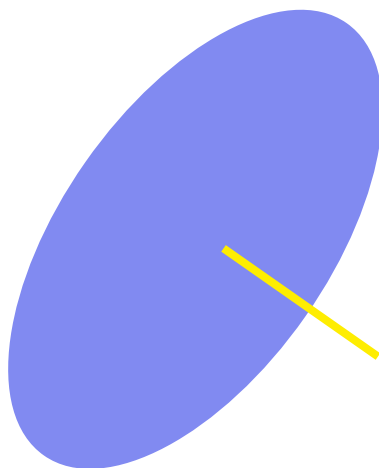
Crédit Soprema : Institut des Métiers et des Techniques de Grenoble

Le photovoltaïque est pertinent lorsque la consommation électrique est majoritairement diurne, en particulier dans les ateliers. L'arbitrage repose sur la concordance entre production solaire et courbe de charge réelle. Le critère déterminant n'est pas la surface disponible, mais le taux d'autoconsommation atteignable. Une installation orientée majoritairement vers la revente présente peu d'intérêt économique pour un centre de formation, sauf si la surface disponible est importante. Elle ne devrait pas constituer un objectif en soi pour un centre de formation, en restant réversible afin de permettre une adaptation future des usages électriques du site (électrification des équipements, évolution des ateliers, mobilité électrique).

Le dimensionnement s'appuie sur des données de consommations mesurées. Les masques existants et futurs doivent être intégrés dès l'étude. Les onduleurs doivent être facilement accessibles et remplaçables. Un comptage dédié et une supervision minimale sont nécessaires pour suivre la performance réelle. La maintenance est limitée mais indispensable : contrôle des onduleurs, suivi de production, nettoyage ponctuel en environnement poussiéreux. La rentabilité se raisonne sur 20 à 30 ans en intégrant le remplacement des onduleurs.



Crédit : Soprema — Bâtiment Joule à Niort (79)



**Pour aller plus loin dans
la démarche : ressources
complémentaires et points
techniques détaillés**

Description détaillées des 6 étapes GO/NO-GO du projet (E0 → E5)

EO – OPPORTUNITÉ ET CADRAGE INITIAL DU PROJET

Finalité de l'étape

L'étape EO constitue le point d'entrée du projet de rénovation. Elle ne vise pas à définir une solution technique, mais à vérifier que la rénovation constitue un levier pertinent et financièrement plausible pour le centre de formation. Elle permet de poser un cadre de décision clair et partagé avant tout engagement d'études. À ce stade, l'enjeu est de borner le projet, non de l'optimiser.

Diagnostic initial de l'existant

L'étape EO s'appuie sur un diagnostic rapide de l'existant. Ce diagnostic permet d'identifier, sans approfondissement technique :

- les principaux dysfonctionnements du bâtiment ;
- les limites fonctionnelles observées ;
- les premières contraintes réglementaires ;
- les signaux d'alerte techniques ou d'usage.

Ce diagnostic n'a pas vocation à orienter une solution. Il sert uniquement à éclairer la décision de lancer ou non des études approfondies.

Adéquation bâtiment, usages et formations

En parallèle, une analyse d'adéquation entre le bâtiment, les usages réels et les formations dispensées est menée. Elle confronte le bâti aux pratiques quotidiennes, aux évolutions pédagogiques envisagées et aux attentes des usagers. Cette analyse vise à éviter un projet uniquement technique, déconnecté des besoins opérationnels et pédagogiques du centre.

Hiérarchisation des besoins et périmètre du projet

À partir des constats techniques et d'usage, les besoins sont hiérarchisés de manière explicite. Cette hiérarchisation distingue :

- les besoins structurants, indispensables au fonctionnement et à l'attractivité du centre ;
- les besoins adaptables ;
- les besoins opportunistes.

Elle constitue un premier niveau d'arbitrage, nécessaire pour contenir le périmètre du projet et limiter les dérives ultérieures et non de figer les choix techniques.

Test de plausibilité financière : L'ambition pressentie est-elle compatible avec les capacités financières connues ?

L'ingénierie financière intervient dès l'étape EO. Elle ne consiste pas à construire un plan de financement ni à mobiliser des aides, mais à tester la plausibilité financière du projet.

« Plausibilité financière »

Appréciation qualitative et quantitative de la compatibilité entre :

- l'ambition pressentie du projet,
- les capacités financières connues du porteur de projet,
- les contraintes institutionnelles et calendaires.

La plausibilité financière :

- ne constitue pas un plan de financement,
- ne repose pas sur des aides considérées comme acquises,
- s'appuie sur des ordres de grandeur et des hypothèses prudentes.
- Un projet plausible financièrement peut encore évoluer ;
- un projet non plausible doit être redimensionné ou différé avant toute étude.

La maîtrise d'ouvrage clarifie d'abord le cadre patrimonial et institutionnel : propriétaire du bâtiment, rôle du centre de formation dans la gouvernance du patrimoine, responsabilités en matière d'investissement et d'exploitation. Sur cette base, un cadre financier non négociable est posé, portant notamment sur :

- l'enveloppe d'investissement envisageable à moyen terme ;
- les limites d'endettement ou de capacité d'emprunt ;
- l'impact acceptable sur le budget de fonctionnement ;
- les contraintes calendaires liées aux arbitrages de tutelle.

À partir du diagnostic initial, un ordre de grandeur du coût potentiel de la rénovation est établi. Cette estimation reste volontairement large. Elle permet de vérifier l'adéquation entre l'ambition pressentie et les capacités financières du porteur de projet.

En cas d'écart manifeste, le projet est redimensionné, différé ou réorienté avant tout engagement d'études.

Les principaux leviers financiers mobilisables sont identifiés à titre exploratoire, sans qu'aucune aide ne soit considérée comme acquise.



Formalisation du cadrage et gouvernance

L'ensemble de ces éléments est formalisé dans une note de cadrage stratégique. Cette note précise :

- les problèmes que le projet cherche à résoudre ;
- les objectifs prioritaires ;
- les contraintes non négociables identifiées à ce stade ;
- les éléments explicitement hors périmètre.

Elle constitue le cadre de référence pour les étapes suivantes.

La gouvernance du projet est clarifiée dès EO.

La direction du centre de formation assume son rôle de maîtrise d'ouvrage et organise le pilotage. Elle peut s'appuyer sur une assistance à maîtrise d'ouvrage, sans délégation de la responsabilité décisionnelle.

Les rôles des principales parties prenantes internes sont identifiés, notamment ceux du gestionnaire administratif et financier, des référents techniques, des équipes pédagogiques et de maintenance. Une première évaluation des moyens internes mobilisables est réalisée afin de vérifier la capacité du centre à porter le projet.

Décision attendue en fin d'EO

La décision de fin d'EO constitue un seuil explicite de passage ou d'arrêt du projet. Elle porte sur :

- la confirmation de l'opportunité de la rénovation ;
- la validation du cadre stratégique et de la gouvernance ;
- l'appréciation explicite de la plausibilité financière du projet ;
- l'autorisation d'engager un budget d'études pour la phase de faisabilité.

En l'absence de cadre stabilisé ou de plausibilité financière démontrée, le projet est différé, redimensionné ou abandonné.

Point de vigilance

Un EO traité comme une formalité conduit presque toujours à des arbitrages tardifs, conflictuels et coûteux.

E1 – FAISABILITÉ : OBJECTIVER, COMPARER, DÉCIDER

Finalité de l'étape

L'étape E1 vise à vérifier que le projet de rénovation est faisable sur les plans technique, fonctionnel, organisationnel et financier. Elle constitue une phase de bascule : le projet cesse d'être une intention pour devenir un ensemble d'options réalistes, comparables et arbitrables.

E1 ne cherche pas à définir une solution, mais à réduire le champ des possibles en éliminant les scénarios fragiles, irréalistes ou incompatibles avec les contraintes du centre de formation.

Approfondir la connaissance de l'existant

L'étape E1 s'appuie sur des audits ciblés de l'existant.

Ils portent notamment sur la performance énergétique, le confort thermique et acoustique, la qualité de l'air intérieur, la gestion de l'eau, les risques climatiques et les contraintes réglementaires applicables. Le cas échéant, ils intègrent la sécurité électrique des logements et un diagnostic technique global.

Ces analyses permettent de qualifier l'état réel du bâtiment, d'objectiver ses marges de progression et d'identifier les contraintes structurantes susceptibles d'orienter ou de limiter les choix futurs. Elles ne visent pas à prescrire des solutions, mais à poser un socle partagé.

Les audits techniques sont complétés par une analyse approfondie des usages. Des entretiens avec les usagers permettent de comprendre le fonctionnement réel du bâtiment, les écarts entre conception et exploitation et les difficultés rencontrées au quotidien. Cette analyse est déterminante pour éviter des solutions techniquement performantes mais inadaptées aux pratiques réelles.

Élaborer des scénarios comparables

Sur la base des diagnostics techniques, réglementaires et d'usage, plusieurs scénarios de rénovation sont élaborés. Des scénarios sont comparables lorsqu'ils :

- portent sur un périmètre clairement défini,
- s'appuient sur des niveaux de service identifiables,
- sont chiffrés selon une méthodologie identique,
- intègrent des impacts similaires en exploitation et maintenance.

Des scénarios non comparables rendent toute décision artificielle et déplacent les arbitrages vers des phases irréversibles.

Chaque scénario repose sur :

- un périmètre clairement défini,
- des hypothèses explicites,
- un niveau d'intervention identifiable.

Ces conditions sont nécessaires pour garantir leur comparabilité.

Les scénarios se distinguent par leur niveau d'ambition, leurs performances attendues et leurs implications en matière d'exploitation et de maintenance. Ils sont chiffrés selon une méthodologie homogène. L'objectif n'est pas d'atteindre une précision budgétaire fine, mais de disposer d'ordres de grandeur cohérents permettant un arbitrage réel.

Intégrer la lecture financière et le coût global

L'ingénierie financière prend une place centrale dans l'analyse des scénarios. Elle s'appuie sur un double diagnostic : les résultats techniques issus des audits et une lecture financière de la capacité du centre de formation et de ses partenaires à porter l'investissement.

Pour chaque scénario, une lecture en coût global simplifié est réalisée.

Coût global (lecture simplifiée)

Approche d'aide à la décision intégrant, sur un horizon de moyen à long terme (20 à 30 ans) :

- les coûts d'investissement,
- les coûts d'exploitation et de maintenance,
- les coûts de renouvellement,
- les économies attendues,
- les risques financiers associés notamment techniques, réglementaires, climatiques et organisationnels,
- les notions d'attractivité du site, du cadre, la qualité de l'environnement.

Le coût global ne vise pas une précision comptable, mais une appréciation de la soutenabilité du projet dans la durée. Cette approche permet de dépasser une logique de coût immédiat pour apprécier la robustesse des scénarios dans la durée. Certains scénarios plus coûteux à l'investissement peuvent s'avérer plus soutenables lorsqu'ils réduisent fortement les charges, les pannes et les interventions curatives.

Les principaux leviers financiers sont identifiés pour chaque scénario à titre indicatif : portage par le CFA ou la collectivité propriétaire, mobilisation possible des CEE, accès à des programmes nationaux ou territoriaux, recours éventuel à des prêts ou à des montages contractuels spécifiques. À ce stade, ces leviers ne sont ni sécurisés ni contractualisés ; ils servent uniquement à tester la cohérence financière globale des options envisagées.

Comparer, éliminer, prioriser

L'analyse des scénarios ne se limite pas aux performances techniques. Elle repose sur une lecture croisée des impacts, des contraintes et des risques, permettant d'identifier :

- les scénarios robustes, compatibles avec les capacités techniques et financières du centre ;
- les scénarios fragiles, reposant sur des hypothèses incertaines ou générant un reste à charge excessif ;
- les scénarios incompatibles avec les contraintes d'exploitation ou les moyens internes.

Cette étape permet d'éliminer explicitement les faux scénarios, afin d'éviter de déplacer les arbitrages vers des phases où les décisions deviennent coûteuses et difficiles à remettre en cause.

Décision attendue en fin d'E1

L'étape E1 ne vise pas à désigner une solution définitive. Elle éclaire la décision stratégique de la maîtrise d'ouvrage.

À son issue, la direction statue de manière explicite sur :

- l'abandon du projet si aucun scénario n'est à la fois faisable et soutenable ;
- la poursuite du projet avec un périmètre ajusté ;
- la sélection d'un nombre limité de scénarios techniquement réalistes et financièrement soutenables à approfondir en phase de programmation.

La décision de fin d'E1 conditionne directement la cohérence du projet, sa crédibilité financière et sa capacité à être piloté dans les étapes suivantes.

Point de vigilance

Des scénarios non comparables ou insuffisamment testés sur le plan financier rendent toute décision illusoire et fragilisent durablement le projet.

E2 – PROGRAMME ET OBJECTIFS DE PERFORMANCE : VERROUILLER LA TRAJECTOIRE DU PROJET

Finalité de l'étape

L'étape E2 a pour objectif de transformer les scénarios issus de la faisabilité en une trajectoire de projet claire, assumée et opposable. Elle constitue un point de bascule stratégique : le projet cesse d'explorer des options pour s'engager sur un périmètre, un niveau d'ambition et un cadre financier stabilisés.

E2 est l'étape où la maîtrise d'ouvrage accepte explicitement des choix, mais aussi des renoncements, afin de sécuriser la suite du projet.

Formaliser un programme opposable

À partir des scénarios retenus en fin d'E1, la maîtrise d'ouvrage formalise un programme fonctionnel hiérarchisé. Ce programme traduit les besoins identifiés en exigences opérationnelles, pédagogiques et techniques, sans présumer des solutions constructives. Il précise les fonctions attendues du bâtiment, les niveaux de service requis et les contraintes d'exploitation associées.

Le programme ne formalise pas uniquement ce qui est attendu. Il explicite également ce qui est exclu, différé ou traité de manière secondaire. Il constitue ainsi un outil d'arbitrage, destiné à contenir le périmètre du projet et à prévenir les dérives ultérieures.

Définir et stabiliser la stratégie de rénovation

La stratégie de rénovation est définie de manière explicite. Elle peut relever d'une approche globale ou d'une mise en œuvre par étapes, en fonction des contraintes budgétaires, du calendrier et des conditions d'exploitation du site. Ce choix est assumé et documenté.

À l'issue de E2, le périmètre du projet est stabilisé. Les variantes non retenues sont explicitement abandonnées. À partir de cette étape, le projet ne conserve plus qu'une seule trajectoire de référence, éventuellement phasée, destinée à être traduite en conception.

Hiérarchiser les objectifs de performance

Les objectifs de performance sont formalisés de manière mesurable et hiérarchisée. Ils portent notamment sur le confort et la santé des occupants, les consommations énergétiques, les impacts climatiques et carbone, la gestion de l'eau et des ressources, ainsi que le temps de retour carbone.

Chaque objectif est qualifié selon son caractère non négociable, prioritaire ou ajustable. Cette hiérarchisation est essentielle : un objectif non hiérarchisé devient un point de conflit en phase de conception. Le niveau d'ambition retenu est assumé par la maîtrise d'ouvrage et, le cas échéant, adossé à des cadres de référence, labels ou certifications reconnus.

Intégrer l'ingénierie financière comme critère de verrouillage

L'ingénierie financière joue un rôle structurant dans l'étape E2. Elle ne vise pas à optimiser un montage financier, mais à vérifier la cohérence durable entre le périmètre du projet, le niveau d'ambition retenu et les capacités financières réelles du centre de formation et de ses partenaires.

Les arbitrages s'appuient sur des matrices factorielles intégrant les performances attendues, les contraintes d'exploitation, les impacts organisationnels et les impacts financiers. L'estimation du coût global sur un horizon de 20 à 30 ans constitue l'outil central de décision. Elle permet d'évaluer les stratégies de rénovation non seulement au regard de l'investissement initial, mais aussi des coûts d'exploitation, de maintenance, de renouvellement et des économies attendues.

Cadre financier de référence

Ensemble des limites financières validées par la gouvernance à un stade donné du projet.

Il comprend notamment :

- un plafond d'investissement acceptable,
- un niveau de reste à charge maximal,
- des impacts admissibles sur le budget de fonctionnement,
- des contraintes de trésorerie et de calendrier.

À partir de son verrouillage (E2), toute option dépassant ce cadre est considérée comme non soutenable, sauf décision explicite de révision par la gouvernance.

Certaines aides influencent fortement le périmètre, le calendrier ou les choix techniques. Leur temporalité peut créer des tensions de trésorerie ou des décisions précipitées.

Les stratégies reposant sur un investissement sous-estimé, des économies irréalistes ou des charges d'exploitation incompatibles avec les ressources disponibles sont explicitement écartées.

Le cadre financier de référence validé en E2 constitue un plafond opposable. À partir de cette étape, toute option dépassant ce cadre est considérée comme non conforme, sauf décision explicite de révision du périmètre ou du niveau d'ambition par la gouvernance.

Vérifier la capacité de pilotage dans la durée

Une attention particulière est portée à l'articulation entre le niveau d'ambition retenu et les capacités internes du centre de formation. Les impacts sur l'exploitation future, la maintenance, l'organisation et la montée en compétences des équipes sont analysés afin de garantir la pilotabilité du projet dans la durée. Un projet techniquement performant mais non pilotable est considéré comme fragile.

Décision attendue en fin d'E2

L'étape E2 se conclut par une décision explicite de la maîtrise d'ouvrage. Cette décision engage le projet sur une trajectoire technique, financière et opérationnelle assumée, et limite volontairement les marges de remise en cause ultérieures.

Elle porte sur :

- la validation du programme et des exigences opposables ;
- le verrouillage du périmètre et du niveau d'ambition ;
- la validation du cadre financier de référence ;
- l'autorisation d'engager la phase de conception sur cette base.

Projet soutenable

Projet dont les impacts financiers, organisationnels et techniques restent compatibles avec les capacités réelles du centre de formation, dans la durée.

Un projet soutenable :

- ne repose pas sur des hypothèses financières fragiles,
- n'exige pas des moyens humains inexistantes,
- reste pilotable en exploitation.
- Un projet techniquement performant mais non soutenable est considéré comme fragile.

Cette décision constitue le socle à partir duquel la phase de conception peut être engagée.

Point de vigilance

Un objectif non hiérarchisé ou un cadre financier insuffisamment verrouillé en E2 se transforme inévitablement en conflit ou en surcoût en phase de conception.

Verrouiller une trajectoire ne supprime pas les aléas : En rénovation, des aléas techniques apparaissent souvent en phase conception ou travaux : pathologies cachées, réseaux non repérés, contraintes structurelles, amiante. Ces aléas peuvent imposer des ajustements.

E3 – CONCEPTION : SÉCURISER TECHNIQUEMENT ET FINANCIÈREMENT L'ENGAGEMENT

Finalité de l'étape

L'étape E3 a pour objectif de traduire le programme, les objectifs de performance et le cadre financier validés en E2 en une solution de conception techniquement cohérente, financièrement soutenable et exploitable dans la durée. Elle constitue un point de bascule du projet, à partir duquel les engagements deviennent fortement contraignants et les marges de réversibilité limitées.

L'étape E3 ne remet pas en cause les arbitrages réalisés en E2. Elle vise à en vérifier la traduction opérationnelle et à sécuriser l'engagement du projet avant le lancement des consultations travaux.

Piloter un projet de rénovation exige des compétences réelles : arbitrage technique, lecture financière, suivi exploitation. Dans de nombreux centres, ces compétences sont partielles ou sous-dimensionnées. Les moyens humains sont identifiés et adaptés. Un renforcement (AMO, appui exploitation, assistance financière) est parfois indispensable.

Vérifier la conformité de la conception

À ce stade, la maîtrise d'ouvrage vérifie en priorité la conformité de la conception au cadre programmatique validé. L'avant-projet retenu doit répondre aux exigences fonctionnelles, pédagogiques, environnementales et d'exploitation, sans introduire de dérives implicites de périmètre, de niveau d'ambition ou de calendrier.

Les variantes étudiées en E3 relèvent exclusivement de la conception et doivent rester strictement compatibles avec les choix actés en E2. Toute évolution impliquant une modification du périmètre, des objectifs de performance ou du cadre financier fait l'objet d'un arbitrage explicite de la gouvernance avant toute poursuite.

Objectiver les choix de conception

La conception est évaluée à l'aide d'indicateurs cibles clairement définis, portant notamment sur les consommations énergétiques, le confort (y compris le confort d'été), les impacts carbone et le coût global. Ces indicateurs sont fondés sur des hypothèses explicites et présentés avec un niveau de lisibilité suffisant pour permettre une décision éclairée.

L'analyse du cycle de vie et le calcul du temps de retour carbone sont mobilisés pour objectiver les choix de conception, vérifier leur cohérence avec les objectifs fixés et arbitrer entre des variantes conformes au cadre validé.

Les choix de matériaux font l'objet d'une attention particulière. Ils sont argumentés à partir de données environnementales vérifiées, notamment issues de la base INIES, et analysés au regard de leur impact carbone, de leur durabilité et de leurs implications en exploitation et maintenance. Ces choix ne constituent pas un levier de remise en cause du niveau d'ambition ou du périmètre acté.

Consolider le plan de financement

Le plan de financement est consolidé à ce stade. Il intègre l'ensemble des sources mobilisables, les calendriers prévisionnels de versement, le reste à charge pour la structure et les aléas financiers identifiés.

Ce plan doit être strictement compatible avec le cadre financier de référence validé en E2. La cohérence entre le phasage du projet, le calendrier des aides et les capacités financières du centre de formation est vérifiée de manière explicite. En cas d'écart significatif, le projet est réexaminé avant toute poursuite, sans transfert implicite de la contrainte vers la phase de conception.

Anticiper l'exploitation et la mise en service

L'anticipation de l'exploitation constitue un critère structurant de validation de la conception. La facilité de maintenance, l'accessibilité des équipements techniques, l'adaptabilité des espaces et les besoins en compétences internes sont analysés de manière opérationnelle.

Les modalités d'accompagnement des équipes à la prise en main du bâtiment rénové sont intégrées dès cette phase, afin de sécuriser l'atteinte des performances attendues dès la mise en service.

Organiser la capitalisation et la transmission

La capitalisation des connaissances produites est organisée. La documentation technique, les supports pédagogiques et les éléments de retour d'expérience sont identifiés comme des livrables à part entière, contribuant à la pérennité du projet et à sa valeur pédagogique.

Décision attendue en fin d'E3

L'étape E3 se conclut par une décision explicite de la maîtrise d'ouvrage. Cette décision engage durablement le projet sur les plans financier, contractuel et opérationnel. Elle marque l'entrée du projet dans une phase où les marges de réversibilité sont fortement réduites.

Elle porte sur :

- la validation de l'avant-projet conforme au cadre validé en E2 ;
- la validation du plan de financement consolidé ;
- l'engagement financier structurant du projet ;
- l'autorisation de lancer les consultations travaux.

Point de vigilance

Valider un avant-projet sans financement consolidé ou non conforme au cadre financier de référence expose à des blocages majeurs et à des renégociations coûteuses en phase travaux.

E4 – MARCHÉS ET TRAVAUX : EXÉCUTER SANS DÉGRADER LA TRAJECTOIRE DU PROJET

Finalité de l'étape

L'étape E4 a pour objectif de traduire fidèlement, dans les marchés puis sur le chantier, la trajectoire de projet validée en E2 et sécurisée en E3. Elle constitue une phase critique, au cours de laquelle la performance, le périmètre et l'équilibre financier peuvent être préservés ou, au contraire, dégradés par des choix contractuels ou des arbitrages insuffisamment maîtrisés.

E4 n'est pas une phase d'optimisation stratégique. Elle vise l'exécution conforme d'un projet déjà cadré, en limitant strictement les écarts et en rendant toute dérogation visible, arbitrée et assumée. L'enjeu est de rendre les hypothèses explicites et discutables, afin d'éviter des décisions implicites.

Traduire les exigences dans les marchés

La rédaction des marchés constitue un levier déterminant. Les exigences issues des étapes précédentes, notamment en matière de performance énergétique, environnementale, de qualité d'usage et d'exploitabilité, sont traduites de manière explicite et opposable. Les documents contractuels ne se limitent pas à des prescriptions techniques : ils précisent les niveaux de résultats attendus, les modalités de contrôle, les preuves à fournir et les conditions de validation.

Cette traduction contractuelle vise à éviter toute réinterprétation ultérieure des objectifs du projet et à sécuriser le pilotage des travaux sur l'ensemble de la phase chantier.

Piloter le chantier dans le cadre verrouillé

Le pilotage du chantier ne se limite pas au suivi du budget et du planning. Il intègre le respect du périmètre, du niveau d'ambition et du cadre financier validés. Les décisions prises en cours de chantier sont évaluées au regard de leurs impacts à moyen et long termes, notamment sur la performance, la maintenance, les coûts d'exploitation et la durabilité des ouvrages.

Les arbitrages de chantier sont strictement encadrés. Toute décision susceptible d'affecter les objectifs de performance, le périmètre du projet ou le coût global fait l'objet d'une analyse explicite et d'une validation par la maîtrise d'ouvrage. Les économies de court terme dégradant la performance ou générant des surcoûts futurs sont écartées.

Maintenir la cohérence financière

L'ingénierie financière reste active en phase travaux. Le suivi des engagements financiers permet de vérifier la cohérence entre les montants contractés, les situations de travaux et le cadre financier validé en E3. Les écarts éventuels sont analysés et traités sans transfert implicite de la contrainte vers la performance ou la qualité d'exécution.

Le phasage des travaux, les délais de versement des aides et les besoins de trésorerie sont suivis de manière coordonnée afin d'éviter les tensions financières susceptibles de fragiliser le projet.

Maîtriser les interfaces et la qualité d'exécution

Une attention particulière est portée à la gestion des interfaces entre lots et intervenants. Les responsabilités de coordination sont clairement définies afin de limiter les incohérences techniques, fréquentes en rénovation, et les défauts d'exécution susceptibles de compromettre la performance globale du bâtiment.

La gestion de la chaîne des déchets est intégrée au suivi de chantier. Les exigences relatives au tri, à la traçabilité et, le cas échéant, au réemploi sont suivies de manière opérationnelle et documentée, en cohérence avec les engagements du projet.

Organiser le commissionnement et préparer la réception

Le commissionnement est organisé comme un processus continu, débutant dès la phase travaux. Les essais, réglages et vérifications sont planifiés et réalisés de manière progressive, permettant d'identifier et de corriger les écarts avant la livraison. Cette démarche conditionne l'atteinte effective des performances attendues dès la mise en service.

La réception de l'ouvrage est fondée sur des critères explicites de conformité, de qualité et de performance. Les réserves éventuelles sont clairement identifiées, hiérarchisées et traitées en fonction de leur impact sur l'usage, la sécurité et la performance. Les réserves incompatibles avec les objectifs du projet sont considérées comme bloquantes pour la mise en service.

Décision attendue en fin d'E4

L'étape E4 se conclut par une décision explicite de la maîtrise d'ouvrage. Cette décision marque la transition entre la phase de réalisation et la phase de mise en service, dans des conditions maîtrisées.

Elle porte sur :

- la réception de l'ouvrage, avec ou sans réserve hiérarchisées ;
- la confirmation de la conformité du projet aux engagements validés en E2 et E3 ;
- l'autorisation de mise en service.

Point de vigilance

Une réception complaisante ou des arbitrages de chantier insuffisamment encadrés reportent les dysfonctionnements, les surcoûts et les pertes de performance sur l'exploitation.

E5 – MISE EN SERVICE ET EXPLOITATION : VÉRIFIER, CORRIGER, CLÔTURER

Finalité de l'étape

L'étape E5 a pour objectif de vérifier que le bâtiment rénové atteint effectivement les objectifs de performance validés en E2 et mis en œuvre en E3 et E4, et qu'il peut être exploité de manière maîtrisée dans la durée.

Elle constitue la phase de consolidation du projet et conditionne directement la crédibilité des choix techniques, financiers et organisationnels effectués en amont.

E5 ne vise pas à « observer » passivement le bâtiment, mais à confirmer ou infirmer, sur la base de faits mesurés, la pertinence des décisions prises.

Organiser une mise en service maîtrisée

La mise en service est organisée comme un processus structuré et progressif. Les systèmes techniques font l'objet de réglages, d'étalonnages et de vérifications successifs afin d'atteindre les niveaux de performance définis comme non négociables et prioritaires en E2.

Ces opérations s'inscrivent dans la continuité du commissionnement engagé en phase travaux. Elles permettent d'identifier rapidement les écarts de fonctionnement et de distinguer ce qui relève d'un défaut de réglage, d'une non-conformité ou d'un usage inadapté.

Vérifier les performances réelles en conditions d'usage

Une période d'observation post-livraison est formalisée. Elle porte sur une durée suffisante pour être représentative des usages réels du site. Elle permet de suivre de manière objectivée :

- les consommations énergétiques et d'eau ;
- les conditions de confort, notamment en période estivale ;
- les performances environnementales effectivement atteintes ;
- les premiers retours des usagers et des équipes d'exploitation.

Cette analyse est conduite au regard des objectifs hiérarchisés validés en E2. Les écarts sont qualifiés, documentés et analysés afin d'identifier leur origine et leur caractère acceptable ou non.

Piloter l'exploitation à l'aide d'indicateurs utiles

Un tableau de bord d'exploitation est mis en place et partagé avec les équipes concernées. Il regroupe un nombre volontairement limité d'indicateurs, directement liés aux engagements du projet : consommations, confort, disponibilité des équipements, maintenance, gestion des ressources et, le cas échéant, réemploi.

L'objectif n'est pas la production de données, mais leur utilisation effective pour la prise de décision. Les indicateurs servent à déclencher des actions correctives, non à constater a posteriori des dérives.

Réintégrer la lecture financière en exploitation

L'ingénierie financière se prolonge en phase E5. Les performances observées sont confrontées aux hypothèses de coût global retenues en E2 et E3. Les économies d'énergie et d'eau réelles, les coûts de maintenance et les charges d'exploitation sont analysés afin de vérifier la cohérence entre les prévisions et la réalité.

Les écarts significatifs font l'objet d'une analyse spécifique. Ils peuvent conduire à des actions correctives techniques, organisationnelles ou contractuelles. Un projet dont les performances financières réelles s'écartent durablement des hypothèses initiales est considéré comme fragile, même s'il est techniquement conforme.

Accompagner les équipes et sécuriser l'appropriation

L'accompagnement des équipes d'exploitation, de maintenance et des usagers constitue un axe structurant de cette étape. Des actions de formation et de sensibilisation sont mises en œuvre afin de garantir une appropriation effective du bâtiment et de ses systèmes.

La performance devient un sujet partagé, intégré aux pratiques quotidiennes, et non un objectif technique porté uniquement par les concepteurs ou les exploitants.

Capitaliser et tirer les enseignements du projet

Les enseignements du projet sont formalisés de manière structurée. Les résultats atteints, les écarts constatés, les solutions correctives mises en œuvre et les difficultés rencontrées sont documentés.

Cette capitalisation alimente à la fois les projets futurs du centre de formation et, le cas échéant, les supports pédagogiques liés aux métiers de la rénovation et de la transition écologique.

Décision attendue en fin d'E5

L'étape E5 se conclut par une décision explicite de la maîtrise d'ouvrage. Cette décision repose sur des éléments factuels et mesurés. Elle porte sur :

- la confirmation de l'atteinte des objectifs non négociables ;
- l'identification des écarts résiduels et leur caractère acceptable ou non ;
- la validation des actions correctives engagées ou à engager ;
- la clôture du projet en tant qu'opération de rénovation.

En cas de non-atteinte durable d'objectifs jugés structurants, le projet n'est pas considéré comme clos tant que les mesures correctives nécessaires n'ont pas été définies et engagées.

Point de vigilance

Un projet clos sans vérification factuelle des performances réelles transfère les risques, les surcoûts et les pertes de valeur sur l'exploitation.

Pour aller plus loin sur l'ingénierie financière

Temps 1 – Poser le diagnostic financier de départ

L'ingénierie financière s'appuie sur un double diagnostic :

- **Diagnostic technique et réglementaire (E1)** : consommations d'énergie, état du bâti et des systèmes, besoins en confort, QAI, eau, biodiversité, obligations (décret tertiaire, QAI, toitures, PEMD).
- **Diagnostic financier** : dans le but de connaître l'effort d'investissement possible : capacité d'investissement, capacité d'emprunt, marges de manœuvre sur le budget de fonctionnement.

Le porteur de projet commence par dresser une vue d'ensemble :

- **Capacité d'investissement à court, moyen et long terme** :
 - * montant envisageable sur 3—5 ans ;
 - * capacité d'emprunt (selon le statut et les règles de la tutelle) ;
 - * possibilité de cofinancement CCCA-BTP, branche professionnelle, partenaires.
- **Charges de fonctionnement actuelles** :
 - * Masse salariale,
 - * Dépenses d'énergie et d'eau (en pourcentage du budget global),
 - * Niveau d'entretien courant des bâtiments ;
 - * Dépenses récurrentes liées à la vétusté (pannes, réparations d'urgence, pathologies).
- **Partenaires potentiels** :
 - * CCCA-BTP ;
 - * Collectivité propriétaire ou de rattachement ;
 - * Opérateurs publics (Banque des Territoires, agences régionales, etc.) ;
 - * Dispositifs nationaux (programmes de rénovation des bâtiments éducatifs, programmes d'ingénierie pour le tertiaire public).
- **Rôle de la collectivité, le cas échéant** :
 - * existence ou non d'un plan de rénovation des bâtiments éducatifs ;
 - * priorisation éventuelle du site du CFA dans ce plan

En parallèle, les scénarios issus de la faisabilité (E1) sont traduits, de manière simplifiée, en coût global :

À partir des scénarios issus de l'étude de faisabilité, l'ingénierie financière établit, pour chaque scénario :

- * le coût d'investissement (travaux + études + maîtrise d'œuvre + instrumentation) ;
- * les économies d'énergie et d'eau estimées sur 10—20 ans ;
- * l'impact sur les coûts de maintenance (remplacement d'équipements vieillissants, suppression de pathologies récurrentes) ;
- * la durée de vie des solutions (enveloppe vs systèmes techniques) ;
- * les risques associés (techniques, réglementaires, climatiques).

Temps 2 – Construire un plan de financement par grandes familles de dépenses

Intégrer les CEE dans le montage

Les **Certificats d'Économies d'Énergie (CEE)** reposent sur une obligation nationale faite aux vendeurs d'énergie de financer des actions d'économies d'énergie.

Les CEE constituent un levier important pour réduire le coût net de certains travaux (enveloppe et systèmes). L'ingénierie financière examine :

- Quels gestes techniques sont éligibles (isolation, production de chaleur, ventilation performante, régulation...) ;
- **Quel volume de CEE** peut être généré, en groupant les travaux éligibles ;
- Quel mode de valorisation est le plus pertinent : négociation directe avec un obligé, recours à un agrégateur, intégration dans un programme CEE national existant, etc.

Les CEE sont ensuite intégrés dans le plan de financement comme **recettes conditionnelles**, affectée aux travaux ciblés, mais à sécuriser :

- Par une contractualisation claire (engagements, calendrier, pièces justificatives) ;
- En vérifiant la compatibilité avec d'autres aides (pour éviter les non-cumul ou le double comptage sur une même dépense).

S'appuyer sur les programmes nationaux pour les bâtiments éducatifs et tertiaires publics SI APPLICABLE

Pour les CFA implantés dans des bâtiments appartenant à des collectivités et intégrés au patrimoine éducatif, plusieurs dispositifs peuvent se combiner :

- **Programmes nationaux de rénovation des bâtiments scolaires et éducatifs**

Ces programmes, pilotés par l'État et la Banque des Territoires, visent à massifier la rénovation énergétique des écoles, collèges, lycées et autres équipements éducatifs. Ils financent principalement :

- * L'ingénierie et l'accompagnement des collectivités ;
- * Des prêts dédiés à la rénovation énergétique, souvent conditionnés à un niveau minimal d'économie d'énergie (par exemple, 40 % de réduction de consommation) et à la cohérence avec les objectifs de sobriété foncière.

- **Programmes d'ingénierie pour le tertiaire public**

Des programmes nationaux fondés sur les CEE, portés avec l'appui de l'État, accompagnent les collectivités pour :

- * Financer les audits, AMO, postes d'économe de flux,
- * Mutualiser les outils et retours d'expérience,
- * Structurer des plans pluriannuels de rénovation des bâtiments tertiaires (dont les bâtiments de formation).

Dans ces cas, un CFA ne dépose pas toujours lui-même le dossier : **la collectivité propriétaire du bâtiment** est le porteur formel, et le CFA bénéficie de l'ingénierie et des travaux dans le cadre de cette démarche.

Mobiliser les aides régionales et locales

Les régions, départements, intercommunalités et communes disposent souvent de leurs propres dispositifs :

- Appels à projets « bâtiments exemplaires » ou « transition énergétique » ;
- Aides à la **désimperméabilisation** et à la **végétalisation** des cours et espaces extérieurs ;
- Financements spécifiques pour les sites à vocation éducative ou de formation.

L'ingénierie financière consiste à :

- Effectuer une **veille ciblée** sur les aides territoriales accessibles au propriétaire du bâtiment (collectivité ou organisme de formation) ;
- Inscrire le projet du CFA dans un **récit territorial** : contribution aux objectifs climat-air-énergie, amélioration de la résilience locale, renaturation, adaptation aux vagues de chaleur, etc.

Principe

Le **contrat de performance énergétique** est un contrat par lequel un prestataire s'engage, sur une durée pluriannuelle, à atteindre un certain niveau d'amélioration de la performance énergétique, mesuré et vérifié par rapport à une situation de référence. En contrepartie, le prestataire met en œuvre des travaux, équipements ou services.

Pour un CFA, un CPE peut :

- Sécuriser un **niveau minimal d'économie d'énergie** en liant des travaux, des services et des garanties de performance sur plusieurs années ;
- Organiser un suivi régulier des performances (mesure, vérification, ajustement) ;
- Dans certains cas, **intégrer un mécanisme de tiers financement** ou paiement différé, encadré par le droit de la commande publique et les textes récents qui ouvrent des possibilités expérimentales pour les bâtiments publics, en particulier les écoles.

Conditions de réussite

Avant de s'engager dans un CPE, le porteur de projet vérifie :

- La capacité de l'organisme (ou de la collectivité propriétaire) à s'engager sur plusieurs années avec un partenaire unique ;
- La cohérence du CPE avec les objectifs réglementaires (notamment décret tertiaire) et les trajectoires de réduction de consommation ;
- L'existence d'un accompagnement juridique et technique suffisant (AMO expérimenté, appui des services de l'État et des opérateurs publics, utilisation de modèles contractuels mis à disposition par l'État).

Le CPE n'est pas une solution systématique, mais un outil parmi d'autres, particulièrement pertinent lorsque :

- L'enjeu énergétique est important ;
- Un pilotage fin des consommations est recherché ;
- La collectivité ou l'organisme souhaite déléguer une partie du risque de performance à un prestataire ;
- L'organisme ou la collectivité propriétaire est prête à s'engager dans un contrat pluriannuel structuré.

Le CPE reste un dispositif exigeant : il suppose un accompagnement juridique et technique solide, une conception suffisamment stabilisée et une gouvernance capable de suivre le contrat sur la durée. L'ingénierie financière évalue si ce niveau de complexité est justifié par l'ampleur des gains attendus.

Temps 3 – Mettre en cohérence financement, calendrier et phasage

Étape projet	Principales dépenses	Leviers financiers typiques
E1 — Faisabilité	Audits, études QAI, études d'usages, pré-diagnostics, premiers AMO	Fonds propres, CCCA-BTP, aides à l'ingénierie (collectivités, programmes nationaux), CEE dédiés à l'ingénierie (via des programmes).
E2 — Programmation	AMO, études complémentaires, montage financier, concertation.	Fonds propres, aides à l'ingénierie, programmes d'accompagnement des collectivités.
E3 — Conception	Maîtrise d'œuvre, bureaux d'études, simulations, commissionnement préparatoire.	Aides à l'ingénierie, fonds propres, prêts mobilisables dès la phase de conception, éventuellement programmes dédiés
E4 — Travaux	Travaux enveloppe, systèmes, QAI, extérieurs, instrumentation	Subventions d'investissement, CEE, prêts, participation CCCA-BTP, CPE (si choisi).
E5 — Exploitation	Suivi, maintenance renforcée, mesure & vérification, optimisation, formation	Budget de fonctionnement, contrats d'exploitation, CPE, contrats de service énergétiques

Points de vigilance techniques en rénovation de centres de formation BTP

Légende

Zones d'usage

SC : salles de cours / enseignement général

AT : ateliers métiers

IN : internats / hébergement

RES : restauration / espaces collectifs

Priorité

- Bloquant
- Fort impact
- Optimisation



Points transversaux

Les points ci-dessous s'appliquent à l'ensemble du site, quel que soit le type de local concerné. Ils constituent le socle commun à vérifier sur tout projet de rénovation de CFA.

1.1 Diagnostic et connaissance du bâtiment

Priorité	Phase	Erreur typique	Seuils critiques
●	E1	Diagnostic basé sur ressenti direction	Mesures réelles multi-zones avant toute conception.
●	E1	Occupation réelle ignorée	Analyse des rythmes pédagogiques

1.2 GTB / pilotage (sans sur-sophistication)

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence CFA
	E3	GTB trop complexe	GTB limitée aux usages utiles
	E3	Données inutilisées	Indicateurs pédagogiquement exploitables

1.3 Maintenance et exploitation

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence technique
	E3	Maintenance pensée après	Accessibilité réelle équipements
	E4	Équipes non formées	Formation ciblée maintenance
	E5	Documentation inutilisable	Doc exploitant simplifiée

1.4 Mise en service et suivi post-travaux

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence technique
	E5	Projet arrêté à la réception	Commissionnement obligatoire
	E5	Économies non vérifiées	Suivi avant / après
	E5	Retours usagers ignorés	Enquête apprenants / formateurs

Points spécifiques par zone

Les points ci-dessous sont propres à chaque zone fonctionnelle du CFA. Ils s'ajoutent aux points transversaux précédents et ne les remplacent pas.

2.1 Salles de cours / enseignement général

Un inconfort d'été en salle de cours dégrade directement l'apprentissage. Un taux de CO₂ élevé réduit la concentration et nuit à l'image du centre. Ces deux points sont non négociables.

Enveloppe et confort d'été

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence technique
	E2	Isolation sans stratégie d'été	Analyse confort d'été obligatoire
	E2	Protections solaires intérieures seules	Protections solaires extérieures obligatoires

Ventilation et qualité de l'air

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence technique
	E2	Ventilation sous-dimensionnée	Ventilation pilotée à l'usage
	E3	Débits non mesurés	Mesure réelle des débits

Éclairage et confort visuel

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence technique
	E2	Éclairage artificiel dominant	Priorité lumière naturelle
	E3	Absence de variation	Gestion automatique + manuelle

2.2 Ateliers métiers

Les ateliers concentrent les charges internes les plus fortes (machines, soudure, poussières, produits) et imposent un traitement spécifique qui diffère nettement des salles classiques.

Diagnostic spécifique

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence technique
	E1	Ateliers analysés comme bureaux	Diagnostic spécifique ateliers (charges internes, émissions)

Enveloppe et inertie

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence technique
	E2	Sur-isolation sans inertie	Maintien / création d'inertie.

Chauffage / rafraîchissement

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence technique
	E2	Dimensionnement sur l'existant	Calcul sur bâtiment rénové
	E2	Rafraîchissement choisi par confort	Priorité absolue solutions passives

Ventilation spécifique

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence technique
	E2	Ventilation générique	Ventilation spécifique ateliers
	E3	Débits non mesurés	Mesure réelle des débits

Éclairage adapté aux gestes métiers

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence technique
	E2	Éclairage uniforme	Éclairage adapté aux gestes métiers

2.3 Internats / hébergement

L'internat impose des contraintes spécifiques d'acoustique nocturne et de différenciation des menuiseries selon l'exposition des chambres.

Enveloppe et menuiseries

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence technique
	E2	Isolation sans stratégie d'été	Analyse confort d'été obligatoire
	E2	Menuiseries non différenciées	Choix menuiseries par orientation

Acoustique nocturne

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence technique
	E3	Émetteurs bruyants	Silence nocturne prioritaire

2.4 Restauration / espaces collectifs

La restauration génère des émissions spécifiques (odeurs, chaleur, graisses) qui imposent un traitement indépendant du reste du réseau de ventilation.

Ventilation cuisine

Priorité	Phase	Erreur typique	Exigence technique
	E3	Ventilation cuisine ignorée	Traitement odeurs et chaleur

Adapter les solutions selon les zones territoriales

L'objectif n'est pas de « choisir une bonne solution », mais d'éviter les solutions non robustes hors contexte. Deux OF avec le même programme (ateliers + salles + internat) peuvent nécessiter des stratégies très différentes selon le climat, la géographie, la topographie, l'altitude, l'exposition au vent, l'humidité, la ressource énergétique locale, et la capacité réelle d'exploitation/maintenance. Une rénovation performante sur le papier devient un échec si les choix ne sont pas compatibles avec le site, le fonctionnement du centre et les compétences disponibles localement.

Ce que veut dire « territorialiser » un projet

Territorialiser, c'est adapter les leviers techniques et organisationnels à trois familles de contraintes :

Contraintes climatiques et de site

- Sévérité hivernale (besoins de chauffage), fréquence des canicules, amplitude jour/nuit.
- Humidité extérieure, pluies battantes, brouillards, salinité (littoral), corrosion, risque d'inondation.
- Vent dominant, exposition solaire, masques (arbres, bâtiments), urbanisation.
- Sol (nappe, radon, portance), altitude, risque neige/gel.

Contraintes d'exploitation

- Continuité d'activité (impossibilité de fermeture), phasage par vacances.
- Occupations atypiques : internat (nuit), ateliers (charges internes et ventilation), restauration (pics).
- Niveau d'équipe maintenance : présence sur site, astreintes, accès GTC, culture du pilotage.
- Variabilité d'occupation selon périodes de formation.

Contraintes de filières locales

- Disponibilité de réseaux (gaz, chaleur, ENR), stabilité des prix, sécurisation d'approvisionnement.
- Disponibilité des pièces, contrats d'exploitation crédibles.
- Filières matériaux (bois, biosourcés, réemploi) et logistique (îles, montagne).

Le principe : **une solution n'est acceptable que si elle reste performante avec les usages réels et l'exploitation réelle.**

Adapter le projet aux « territoire + usages »

Cette méthode s'applique à chaque zone d'usage (salles, ateliers, internat, restauration, tertiaire) et à chaque lot (enveloppe, ventilation, chauffage, pilotage, ENR).

Étape 1 — Caractériser le territoire du site

- Données climatiques utiles : degrés-jours, températures de base chauffage, fréquence des nuits fraîches estivales, humidité moyenne, vitesse de vent.
- Risques : surchauffe, condensation interstitielle, corrosion, gel, radon, inondation.
- Contraintes de site : orientation des façades principales, possibilité de protections solaires, disponibilité de surfaces PV, zones techniques possibles, accès maintenance.

Étape 2 — Caractériser les usages réels

- Calendrier d'occupation : horaires ateliers, internat, restauration, périodes creuses.
- Charges internes : éclairage, machines, postes de soudage, cuisines, informatique.
- Besoins QAI : émissions spécifiques ateliers, CO₂ en salles, odeurs cuisine.
- Tolérances de confort : ateliers ≠ salles ; internat = exigences acoustiques et confort nocturne.

Étape 3 — Définir la stratégie « d'abord passif, ensuite systèmes, ensuite pilotage »

- Confort d'été : prioritaire dans de nombreux territoires (Sud, DROM, bâtiments vitrés, salles denses).
- Confort d'hiver : prioritaire en continental/montagne.
- QAI : partout, mais plus contraignante en ateliers et restauration.

Étape 4 — Tester la robustesse

- Pour chaque solution envisagée, vérifier :
- Robustesse climatique (fonctionne-t-elle en humidité élevée, vent fort, canicule, gel ?)
- Robustesse exploitation (réglages simples, maintenance faisable, pièces disponibles ?)
- Robustesse chantier (phasage possible, risques de malfaçon maîtrisables ?)

Bâtiments résilients et enjeux environnementaux

Économie circulaire et gestion des déchets



CRITÈRES D'ARBITRAGE

Rénovation simple ou démolition :

Si le chantier concerne uniquement des finitions ou des réparations légères, le diagnostic PEMD n'est pas obligatoire. Si l'intervention porte sur des structures portantes, des toitures, des façades ou entraîne la démolition d'une partie du bâtiment, alors le diagnostic PEMD est obligatoire.

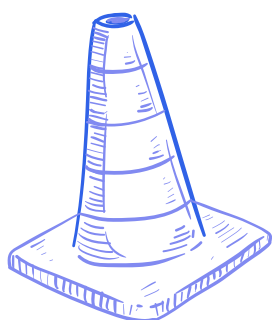
Présence de polluants (amiante, plomb) : si des matériaux dangereux sont identifiés, la dépose, le stockage et le tri doivent être confiés à des entreprises spécialisées.

Capacité de stockage et logistique :

- surface disponible pour stocker les matériaux réemployables (intérieur ou extérieur) ;
- distance aux filières de réemploi ou recyclage ;
- délai d'intervention (un stockage long augmente le risque de dégradation).

Valeur et intégrité des éléments :

- menuiseries, cloisons, faux-plafonds, éléments de mobilier et revêtements de sol sont souvent réemployables ;
- plaques de plâtre, isolants fibreux et moquettes le sont moins, sauf pour certaines marques



PRÉCONISATIONS TECHNIQUES

Diagnostic PEMD et cartographie des flux

- Réaliser un état des lieux complet avec un bureau d'études spécialisé. Identifier les quantités et la nature des matériaux, ainsi que leur potentiel de réemploi ou de recyclage
- Classer en trois catégories : réemployables, recyclables, non valorisables.
- Intégrer le diagnostic dès la phase de faisabilité afin d'anticiper la logistique et le phasage des travaux.

Gestion des flux et stockage

- Séparer physiquement les flux (bois, métal, béton, plâtre, verre) et utiliser des contenants adaptés (bennes compartimentées, racks).
- Mettre en place une zone de stockage abritée pour les éléments à réemployer (ex. menuiseries, radiateurs).
- Utiliser des caisses-palettes réutilisables et étiqueter les lots pour assurer leur traçabilité (code barre ou QR code).
- Prévoir un accès facile pour les camions de collecte ou pour les associations qui viendront récupérer les éléments.

Choix des matériaux pour la nouvelle construction

- Favoriser les matériaux à assemblage sec (ex : cloisons modulaires) permettant démontage et réutilisation.
- Privilégier les matériaux recyclés ou recyclables : granulats recyclés pour les bétons non structuraux, isolants en fibres végétales ou textiles recyclés, revêtements de sol en caoutchouc recyclé.
- Choisir des revêtements démontables (vis, clips) plutôt que collés, facilitant la dépose sans dégradation.

Mise en œuvre du réemploi

- Prévoir un poste de nettoyage/réparation des éléments réemployés (atelier de reconditionnement).
- Pour les faux plafonds, cloisons et luminaires, tester la compatibilité avec les nouvelles normes électriques et acoustiques.
- Intégrer le réemploi dans le cahier des charges (lots de menuiserie, d'électricité, de plâtrerie) et prévoir des clauses d'acceptation par la maîtrise d'ouvrage.



CRITÈRES D'ARBITRAGE

Portance et structure

- Toiture existante : vérifier la charge admissible (par un bureau de contrôle).
- Si la charge admissible $\leq 100 \text{ kg/m}^2$: uniquement végétalisation extensive ou semi-extensive.
- Si la charge admissible $\geq 200 \text{ kg/m}^2$: possibilité d'une toiture intensive accessible.

Configuration et exposition

- Pente $\leq 20^\circ$: végétalisation possible ; au-delà, des dispositifs d'ancrage sont nécessaires.
- Exposition plein sud sans ombrage : privilégier des sedums résistant à la sécheresse ; prévoir un arrosage goutte-à-goutte.
- Exposition nord : planter des graminées ou des vivaces de mi-ombre, vérifier la résistance à l'humidité.

Objectifs d'usage

- Recherche de performance thermique : couverture végétalisée « extensive ».
- Création d'un espace pédagogique ou de convivialité : toiture « intensive » ou terrasse-jardin.
- Biodiversité : associer toit et façade végétalisée, choisir des plantes mellifères et nectarifères.



PRÉCONISATIONS TECHNIQUES

Études préalables

- **Diagnostic de la structure** : mesurer l'épaisseur des dalles, évaluer la charge totale (substrat + végétation + neige), vérifier l'état des étanchéités.
- **Analyse climat local** : températures extrêmes, pluies et vent ; tenir compte du climat dans la sélection des espèces.
- **Compatibilité incendie** : respecter les règles ERP type R (séparation entre végétalisation et évacuations de fumée, matériaux de classe B ou meilleure).

Conception et réalisation

- **Système d'étanchéité** : renforcer ou refaire l'étanchéité (membrane EPDM, bitume, PVC) avec une protection anti-racines.
- **Drainage** : installer une couche drainante (gravier ou plaque en polypropylène alvéolé) pour évacuer l'excédent d'eau.
- **Filtration** : poser un géotextile pour éviter la migration des fines dans le drainage.
- **Substrat** :
 - * 6–15 cm pour l'extensive (mélange minéral/organique, densité 400 kg/m^3 humide),
 - * 15–25 cm pour la semi-extensive,
 - * 30 cm pour l'intensive (terre végétale, densité $>800 \text{ kg/m}^3$ humide).
- **Irrigation** : à définir selon le système et la localisation
- **Façades végétalisées** : utiliser des jardinières fixées en façade ou des modules pré-cultivés ; prévoir des lignes d'irrigation verticales et un système d'accrochage qui n'endommage pas l'isolant.



CRITÈRES D'ARBITRAGE

Perméabilité du sol

- Perméabilité $K > 10^{-6}$ m/s : infiltration directe possible ; privilégier les noues et jardins de pluie.
- Perméabilité $K < 10^{-6}$ m/s ou présence de nappe affleurante : infiltration limitée ; combiner bassins de rétention, toitures réservoirs et infiltration partielle.

Surface disponible et contraintes d'usage

- Cour ou parking non utilisé en permanence : possibilité de créer un parc inondable ou un jardin de pluie.
- Espaces restreints ou très circulés : solutions compactes (toiture réservoir, chaussée perméable, caisson d'infiltration enterré).

Pente et topographie

- * Forte pente ($\geq 5\%$) : prévoir des échelles d'eau pour ralentir l'écoulement.
- * Pente faible ($\leq 1\%$) : favoriser les noues et jardins de pluie, vérifier la stagnation.

Usages pédagogiques

- Volonté d'expérimentation : intégrer des capteurs de niveau, des échelles limnimétriques, des instruments de mesure pour les apprenants.
- Collaboration avec la filière paysage : jardiner avec les élèves et créer un potager d'infiltration.



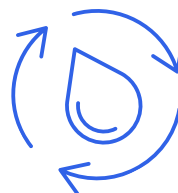
PRÉCONISATIONS TECHNIQUES

Étapes préalables (adapter en fonction du contexte local)

1. Étude hydrogéologique : test de perméabilité, identification des niveaux de nappe et des contraintes de pollution (hydrocarbures, métaux).

2. Calcul des volumes : dimensionner les ouvrages pour les pluies courantes (débit de fuite limité) et les pluies décennales. Utiliser un logiciel ou un tableur selon la méthode du « tempo de pluie » (coefficients de ruissellement, facteur de forme).

3. Mise en conformité réglementaire : en zone urbaine dense, consulter le règlement d'assainissement ou le PLU ; un accord de déversement peut être requis.



Gestion de l'eau - Maîtriser les consommations et les charges



CRITÈRES D'ARBITRAGE

Ce levier est particulièrement pertinent lorsque le site comporte :

- un internat ou une restauration collective ;
- des ateliers à usages intensifs ;
- des bâtiments étendus avec des réseaux hétérogènes ou anciens.

La pertinence des actions dépend moins de la technologie que de la capacité à assurer un suivi dans la durée.



PRÉCONISATIONS TECHNIQUES

Les démarches les plus robustes reposent sur des solutions simples et éprouvées :

- équipements hydro-économes adaptés à un usage collectif intensif ;
- sous-comptage par usage significatif permettant un suivi lisible ;
- récupération des eaux pluviales pour des usages compatibles (arrosage, nettoyage).

L'efficacité de ces dispositifs suppose une organisation d'exploitation claire : responsabilités identifiées, suivi régulier, indicateurs compréhensibles. À défaut, les économies attendues restent théoriques.



CRITÈRES D'ARBITRAGE

Diagnostic faune-flore

- Inventorier : oiseaux, chauves-souris, insectes, amphibiens et mammifères ; identifier les corridors écologiques et les zones sensibles.
- Si présence d'espèces protégées : plan de conservation obligatoire (aménagements spécifiques, calendrier de travaux hors périodes de reproduction).

Contexte urbain, périurbain ou rural

- Urbain dense : priorité aux îlots de fraîcheur (arbres à feuillage dense, murs végétalisés), micro-habitats artificiels (nichoirs, hôtels à insectes).
- Périurbain : préserver les haies et prairies existantes, améliorer les continuités écologiques (plantation de corridors).
- Rural : profiter des surfaces disponibles pour créer des zones humides (mares) et des vergers pédagogiques.

Limites budgétaires et temps d'entretien

- Budget limité : privilégier la gestion différenciée (friches, fauchage tardif) plutôt que des aménagements coûteux.
- Capacité d'entretien réduite : choisir des essences locales à croissance lente et faible besoin en eau.



PRÉCONISATIONS TECHNIQUES

Diagnostic écologique éventuel

- Faire réaliser un inventaire par un bureau d'étude naturaliste avant la phase de conception.
- Cartographier les habitats (murets, arbres creux, anciennes haies) et les relier à des corridors écologiques voisins.
- Identifier la présence d'espèces protégées pour caler le calendrier des travaux : travaux possibles hors période de reproduction (généralement février à août pour les oiseaux et chauves-souris).

Mesures de protection et d'enrichissement

• Conservation des habitats

- * Préserver les arbres existants et mettre en place un périmètre de protection (clôture, mulching).
- * Maintenir ou reconstituer des haies avec des essences locales (charme, prunellier, noisetier, aubépine).
- * Créer des bandes d'herbes hautes ou des prairies florales sur au moins 20 % des espaces verts.

• Création de zones refuges

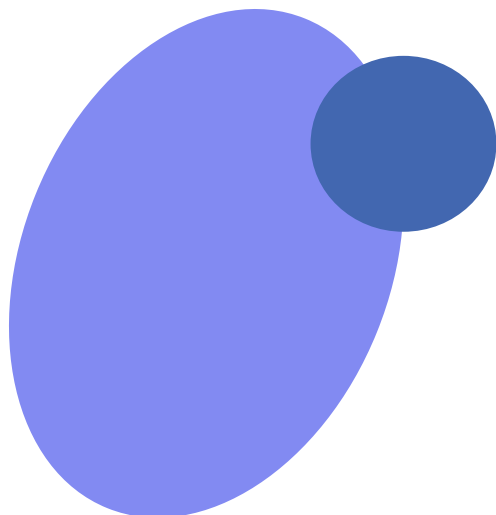
- * Installer des nichoirs (mésanges, rouges-queues) à différentes hauteurs et orientations, et des gîtes pour chauves-souris sous les avant-toits.
- * Construire des hôtels à insectes (casiers en bois remplis de tiges, bûches, briques creuses) en zone urbaine.
- * Fabriquer des tas de bois et des murgers (tas de pierres) en périphérie du site.

• Haies et corridors écologiques

- * Créer des haies linéaires d'essences locales, espacées de 4—5 m et composées d'au moins cinq espèces (aubépine, noisetier, églantier, cornouiller, sorbier).
- * Insérer des prairies fleuries en bordure des haies, fauchées une fois par an (septembre) pour favoriser les pollinisateurs.

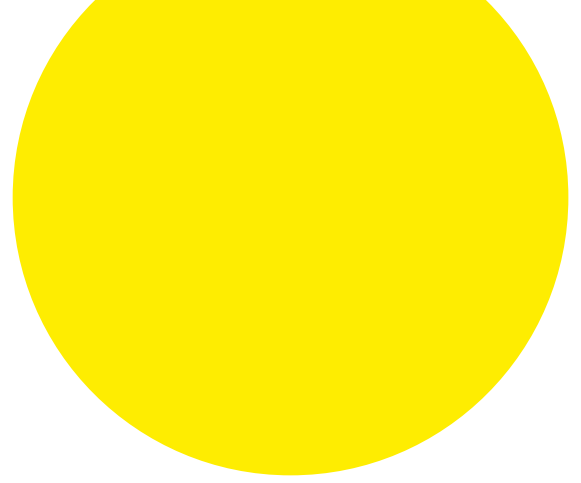
• Choix d'essences adaptées

- * Sélectionner des espèces rustiques et adaptées au climat local
- * Éviter les espèces invasives (ailantes, renouées du Japon, lauriers palmés) et exotiques (cyprès de Lawson, thuya) ;
- * Privilégier des arbres fruitiers (pommiers, pruniers, poiriers) pour les plantations pédagogiques et la biodiversité.



- **Gestion différenciée**

- * Zonage : définir les espaces intensifs (pe-
louses proches des bâtiments), extensifs (prai-
ries, friches) et intermédiaires (aires de loisirs).
- * Fauchage tardif (une coupe en fin d'été)
sur les prairies ;
- * Suppression des pesticides et herbicides ;
- * Compostage sur place des résidus de
taille et des feuilles mortes.



Adaptation au changement climatique (au-delà du confort thermique)



CRITÈRES D'ARBITRAGE

Ce levier devient structurant lorsque :

- le site est exposé à des aléas climatiques mar-
qués ;
- le bâtiment doit rester en fonctionnement
continu ;
- les marges de manœuvre sur les systèmes ac-
tifs sont limitées.

Il est d'autant plus pertinent que le projet vise à limi-
ter la complexité technique et les risques de défail-
lance en exploitation.



PRÉCONISATIONS TECHNIQUES

Les solutions les plus robustes privilégient :

- les dispositifs passifs (ombrage, inertie, ventila-
tion naturelle) ;
- la gestion de l'eau et des sols ;
- des choix techniques peu sensibles aux pannes.

L'objectif n'est pas de multiplier les équipements,
mais de réduire la dépendance aux systèmes com-
plexes, afin de garantir un fonctionnement accep-
table même en situation dégradée.

Analyse des risques climatiques locaux

→ Chaleur, sécheresse, pluies intenses, vents do-
minants.

Effet attendu : choix techniques adaptés au contexte
réel du site.

Robustesse et sobriété des solutions

→ Priorité aux solutions passives et peu sensibles
aux pannes.

Effet attendu : continuité d'usage même en situa-
tion dégradée.

Capacité de fonctionnement sans suréquipe- ment

→ Ventilation naturelle possible, ombrage, inertie,
gestion de l'eau.

Effet attendu : limiter la dépendance aux systèmes
actifs.

Carbone : réduire l'impact sur l'ensemble du cycle de vie



CRITÈRES D'ARBITRAGE

Ce levier est particulièrement pertinent lorsque :
plusieurs scénarios de rénovation sont envisageables ;

- des choix structurants de matériaux ou de surfaces sont en débat ;
- l'investissement initial est significatif.

Il permet d'objectiver les arbitrages et d'éviter des décisions fondées uniquement sur des gains énergétiques partiels.



PRÉCONISATIONS TECHNIQUES

Les démarches les plus efficaces reposent sur :

- la comparaison de scénarios via une analyse carbone ou une ACV bâtiment ;
- le calcul du temps de retour carbone pour hiérarchiser les actions ;
- la sobriété des surfaces, des matériaux et des systèmes ;
- une organisation de chantier limitant les transports et les déchets.

La priorité reste des solutions durables, réparables et compatibles avec l'exploitation réelle du site, afin d'éviter un surcroît d'impact carbone à moyen terme.

Analyse carbone en phase conception (ACV bâtiment)

→ Comparaison de scénarios (enveloppe, systèmes, matériaux, phasage).

Effet attendu : arbitrages objectivés, éviter les transferts d'impact.

Point de vigilance : ne pas se limiter au seul poste énergie.

Temps de retour carbone (TRC)

→ Évaluer le temps nécessaire pour compenser le carbone investi par les économies générées.

Effet attendu : hiérarchisation des actions réellement pertinentes.

Usage clé pour arbitrage direction / CA.

Réduction du carbone des matériaux

→ Priorité aux matériaux :

- * issus du réemploi ou du recyclage,
- * biosourcés lorsque compatibles avec l'usage (acoustique, feu, humidité),
- * à faible impact ACV vérifié (FDES / INIES).

Effet attendu : réduction immédiate du carbone « construction ».

Sobriété constructive

→ Éviter le surdimensionnement : surfaces, épaisseurs, systèmes.

Effet attendu : baisse du carbone initial et des coûts associés.

Organisation de chantier bas carbone

→ Réduction des déchets, tri à la source, limitation des transports, logistique optimisée.

Effet attendu : baisse du carbone chantier, amélioration des REX.

Lien avec exploitation

→ Solutions simples, durables, réparables.

Energies renouvelables

L'intégration d'énergies renouvelables dans un centre de formation ne constitue pas un objectif en soi. Elle intervient en aval d'un travail sur la sobriété, l'enveloppe et les systèmes. Une EnR pertinente est une EnR dimensionnée à partir des usages réels, exploitable par les équipes techniques et économiquement soutenable sur le long terme.

Principes communs à toute EnR en centre de formation

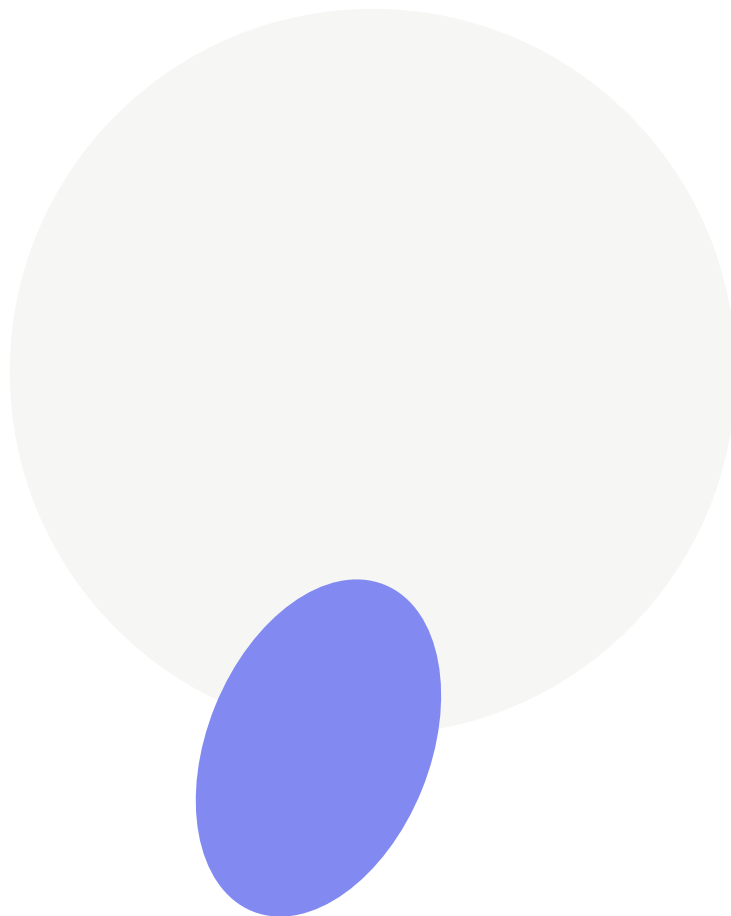
L'intégration d'une énergie renouvelable intervient après le traitement de la sobriété, de l'enveloppe et des systèmes. Une EnR ne corrige pas un bâtiment mal conçu.

Le choix d'une filière doit reposer sur les usages réels, mesurés, et sur la capacité d'exploitation du site sur vingt à trente ans. Toute EnR doit faire l'objet d'un raisonnement en coût global intégrant investissement, maintenance, renouvellement des équipements et évolution des usages.

La simplicité, l'accessibilité des équipements et la lisibilité pour les équipes de maintenance constituent des critères de décision à part entière. Une valorisation pédagogique n'est pertinente que si les systèmes sont instrumentés, compréhensibles et réellement intégrés au fonctionnement du site.

Énergies renouvelables contextuelles

Certaines énergies renouvelables ne relèvent pas de solutions génériques applicables à l'ensemble des centres de formation. Leur pertinence dépend fortement du contexte territorial, des besoins thermiques du site et des capacités d'exploitation. Elles doivent être étudiées au cas par cas.



Bibliographie

[Dispositif « Eco-Energie Tertiaire » \(EET\)](#)

[Loi portant évolution du logement de l'aménagement et du numérique \(Elan\)](#)

[Décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019](#) relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire

[Décret BACS](#) - Systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments

[Mise en œuvre de systèmes d'automatisation et de contrôle \(BACS\) dans les bâtiments tertiaires](#), Guide d'application du décret BACS, janvier 2026

[Observatoire national du BACS](#) du GIMELEC

[Stratégie nationale bas-carbone](#) (SNBC)

[INIES](#), base de données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment et la RE2020

[Evaluation des logiciels Audit énergétique réglementaire](#)

[Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique](#), Cerema, Direction générale de l'énergie et du climat, ADEME et Météo-France

Pour aller plus loin : les ressources du LAB Cercle Promodul

[Rénovation des écoles : intégrer le confort d'été](#), guide pratique, 2024

[L'isolation : une réponse efficace aux enjeux énergétiques et environnementaux](#), fiche pratique, 2023

[L'inertie thermique : un atout majeur pour des bâtiments performants et confortables](#), fiche pratique, 2025

[La sobriété dans le bâtiment : un enjeu central pour une transition énergétique réussie](#), fiche pratique, 2025

[Les BACS comme un levier d'économies, de sobriété et de confort : pourquoi et comment ?](#), fiche pratique, 2025

Site internet Alliance HQE-GBC : hgegb.org

Site internet Cercle Promodul : cercle-promodul.org

CCCA/BTP

www.ccca-btp.fr

    /3cabtp

Juin 2024

