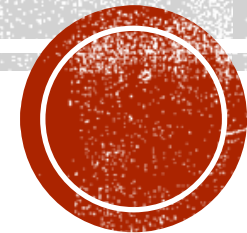




AUTOMATISATION ET GESTION TECHNIQUE DU BÂTIMENT

Dr. DAHHAOUI Hachimi



PLAN DU COURS

- ❑ **Défis courants des bâtiments gérés traditionnellement**
 - Verrous liés à l'optimisation énergétique en absence d'automatisation
- ❑ **Composants et avantages d'un système de gestion technique du bâtiment (GTB)**
 - Capteurs, actionneurs, supervision et retours énergétiques
- ❑ **Exploitation des systèmes « bâtiment intelligent » pour piloter les installations**
 - Contrôle en temps réel des flux – chauffage, ventilation, éclairage
- ❑ **Amélioration de l'efficacité énergétique et des objectifs de durabilité**
 - Stratégies de régulation et d'optimisation dans un projet de réhabilitation
- ❑ **Réduction des coûts de maintenance**
 - Maintenance prédictive fondée sur l'analyse des données
- ❑ **Bilan et retour d'expérience : résultats obtenus avec une GTB intelligente**
 - Exemples chiffrés de gains énergétiques et financiers



COMPOSANTS D'UN BÂTIMENT "INTELLIGENT" (POUR LA RÉHABILITATION ÉNERGÉTIQUE)

❑ Capteurs et dispositifs IoT

Mesure continue des températures, de l'humidité, des consommations et de la qualité de l'air.

Outils de suivi post-rénovation pour évaluer l'effet des travaux sur la performance thermique.

❑ Connectivité sécurisée

Réseaux filaires et sans-fil (Ethernet, Wi-Fi, LoRaWAN...) garantissant l'intégrité et la confidentialité des données énergétiques.

Protection contre les intrusions cybernétiques, essentielle pour la fiabilité des automatismes après réhabilitation.

❑ Systèmes de gestion technique du bâtiment (GTB)

Plateforme de supervision centralisée : pilotage du chauffage, de la ventilation et de l'éclairage selon les besoins réels. Automatisation des scénarios de consigne (consignes de température, ventilation nocturne...) pour optimiser les gains énergétiques.

❑ Intégration avec les équipements sur site

Interfaçage avec les installations existantes (chaudières, pompes à chaleur, panneaux solaires, volets motorisés). Adaptation et commande unifiée des anciens et nouveaux équipements lors d'un projet de rénovation, afin de maximiser les économies d'énergie.



Ces quatre piliers garantissent que la réhabilitation énergétique devienne un processus piloté, mesurable et réellement performant.

TYPES DE CAPTEURS POUR UN BÂTIMENT INTELLIGENT

❑ Capteurs de température :

Fonction : Mesurent la T° dans les zones stratégiques (pièces, façades, combles, etc.).

En réhabilitation énergétique :

- ✓ Ajustement fin des consignes de chauffage/climatisation selon les nouvelles performances d'isolation.
- ✓ Détection des ponts thermiques et vérification de l'efficacité des travaux (murs, menuiseries).



Temperature

Measure the temperature in different areas of a building and send the data to the HVAC system's control unit.

❑ Capteurs de consommation énergétique :

Fonction : Suivent la quantité d'énergie utilisée par chaque équipement (chaudière, pompe à chaleur, VMC, etc.).

En réhabilitation énergétique :

- ✓ Quantification précise des économies après rénovation (avant/après).
- ✓ Validation du retour sur investissement des solutions (isolation, régulation, récupération calorifique).



Energy

Measure the amount of energy used by different systems and devices in a buildings.

❑ Capteurs de qualité de l'air & CO₂

Fonction : Mesurent le taux de CO₂ et autres polluants intérieurs (COV, particules).

En réhabilitation énergétique :

- ✓ Pilotage de la ventilation (naturelle ou mécanique) pour garantir confort et santé sans surventiler.
- ✓ Réduction des besoins de chauffage/rafraîchissement en évitant les déperditions liées à une aération excessive.



Air Quality & CO2

These sensors measure the level of pollutants in the air, such as carbon monoxide.

❑ Capteurs de luminosité

Fonction : Évaluent l'éclairement naturel dans chaque espace.

En réhabilitation énergétique :

- ✓ Commande automatique de l'éclairage artificiel (dimming, extinction) en fonction de l'ensoleillement.
- ✓ Optimisation de l'éclairage diurne pour réduire la consommation électrique et améliorer le confort visuel.



Light

Measure the amount of natural light in a space and can be used to adjust artificial lighting levels.



COMPONENTS OF A SMART BUILDING

Ces capteurs, intégrés au système de gestion technique du bâtiment (GTB), constituent le socle d'une approche pilotée de la réhabilitation énergétique : mesurer, analyser, ajuster et vérifier les gains réels.



SONDAGE N°1 : COMMENT ÊTES-VOUS ALERTÉS DES PROBLÈMES DANS LE BÂTIMENT ?

- ☐ Appels des gestionnaires de site
- ☐ Création manuelle d'un ticket de maintenance
- ☐ Ticket automatisé émis par le système de gestion énergétique / GTB
- ☐ Réclamations des occupants
- ☐ Autres

Opinion :

Pour un projet de réhabilitation énergétique, il est essentiel de privilégier les **alertes automatisées** issues de la GTB (surcharge, consommation anormale, écart de température). Cela permet une **détection précoce** des dysfonctionnements thermiques ou des défauts d'isolation, et d'intervenir plus rapidement pour maintenir les performances énergétiques atteintes lors des travaux.

RÉSULTATS DU SONDAGE N°1 : COMMENT ÊTES-VOUS ALERTÉS DES PROBLÈMES DANS LE BÂTIMENT ?

Mode d'alerte	Pourcentage
Appels des gestionnaires de site	12 %
Ticket de maintenance soumis manuellement	52 %
Ticket automatisé émis par le SGE / GTB	12 %
Réclamations des occupants	15 %
Autres	9 %

Interprétation & recommandations pour la réhabilitation énergétique :

•Dépendance forte aux tickets manuels (52 %)

→ Risque de retard dans la détection des anomalies thermiques post-rénovation (fuites, surconsommation).

•Automatisation faible (12 %)

→ Il faut impérativement **augmenter** la part des alertes automatiques générées par la GTB/SGE :

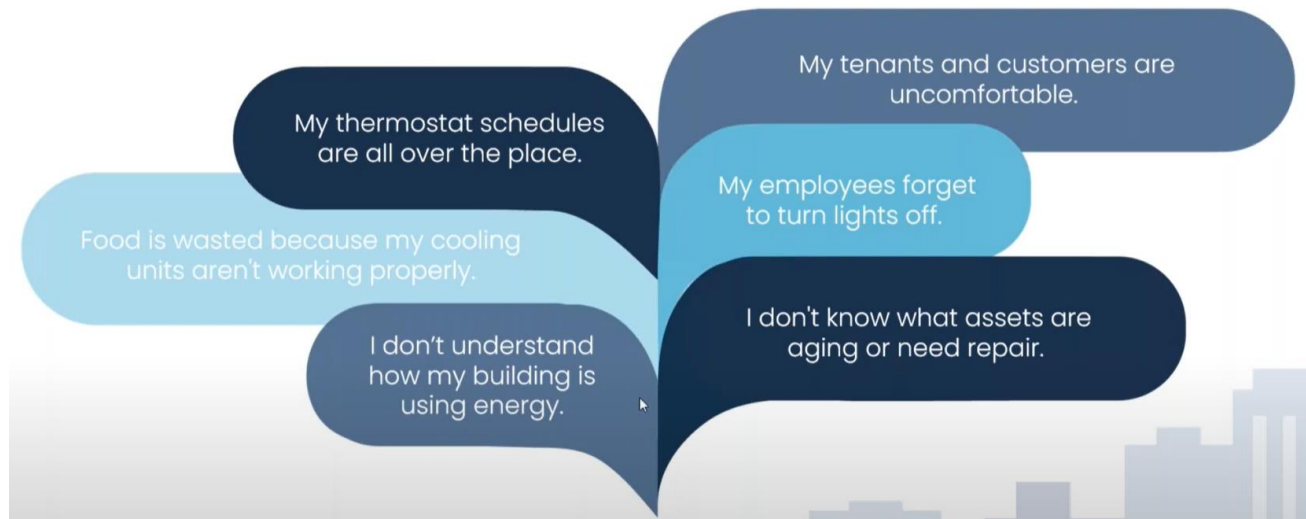
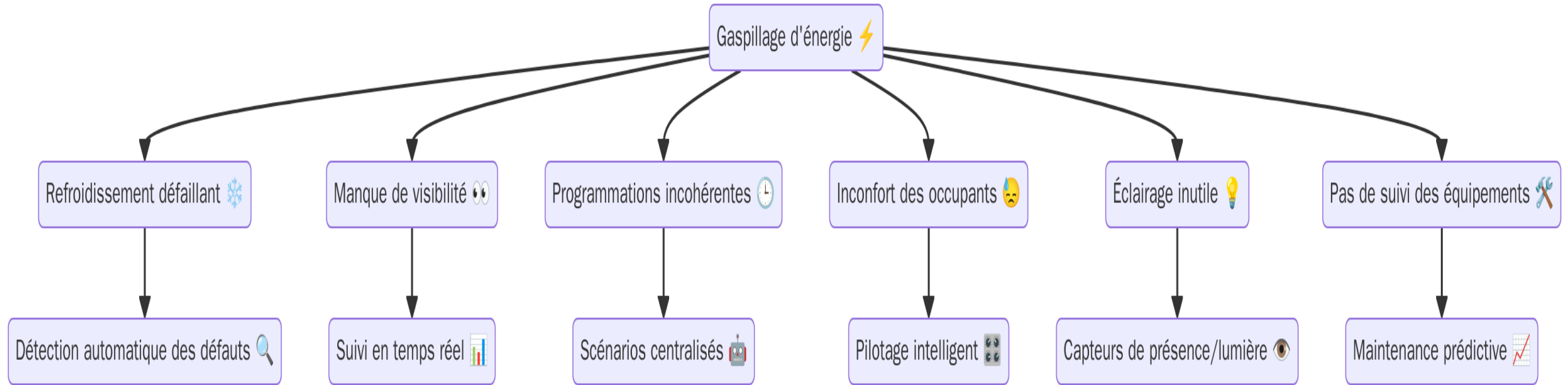
- Seuils de consommation anormale (kWh/m²)
- Écarts de température persistants indiquant un défaut d'isolation
- Dysfonctionnements des systèmes de ventilation

•**Objectif** : Passer à **> 50 %** d'alertes automatisées afin d'assurer un suivi proactif et de **garantir la performance énergétique** attendue après travaux.



DÉFIS DE LA GESTION TRADITIONNELLE DES BÂTIMENTS

(ADAPTÉ AU CONTEXTE DE LA RÉHABILITATION ÉNERGÉTIQUE)



DÉFIS DE LA GESTION TRADITIONNELLE DES BÂTIMENTS

☐ **Visibilité limitée et données retardées**

- ✓ Relevés manuels et rapports ponctuels : impossibilité de suivre en temps réel les consommations et les températures.

☐ **Maintenance purement réactive**

- ✓ Intervention uniquement après panne ou signalement ; coûts d'exploitation élevés et perte de confort pour les occupants.

☐ **Mesure d'impact post-travaux insuffisante**

- ✓ Pas de retour automatique sur la performance des isolations ou équipements rénovés.

☐ **Absence de pilotage dynamique de l'énergie**

- ✓ Aucune régulation fine selon conditions climatiques, occupation ou production solaire intégrée.

☐ **Processus lourds et peu automatisés**

- ✓ Création manuelle de tickets, communications dispersées ; risques d'erreurs et délais de traitement longs.

Pourquoi c'est problématique en réhabilitation énergétique

Sans automatisation et suivi en continu, impossible de garantir les économies prévues par les travaux, de détecter rapidement les défauts d'isolation ni d'ajuster finement la régulation pour maximiser les gains énergétiques.

Objectif du passage à une GTB intelligente :

- Collecte et analyse en temps réel des indicateurs thermiques et énergétiques
- Maintenance prédictive pour sécuriser les performances
- Vérification automatique du retour sur investissement des travaux de réhabilitation.



GESTION DE BÂTIMENT : UNE ÉVOLUTION POUR LA RÉHABILITATION ÉNERGÉTIQUE

Surveillance Air, CO₂ & Humidité

Un système de gestion énergétique (SGE) capte en temps réel la qualité de l'air intérieur, les taux de CO₂, l'humidité et même la météo locale.

Suivi de performance des unités HVAC

Automatisation de la régulation pour optimiser en continu l'efficacité, les économies et le confort. Consultation à la demande de l'état de santé des équipements pour prioriser maintenance et dépannage.

Pilotage de l'éclairage

Planification et contrôle centralisés de l'éclairage intérieur et extérieur (y compris signalétique), via une même plateforme.

Thermostat intelligent & pilotage HVAC

Algorithmes avancés pilotent le chauffage et la climatisation de façon autonome et adaptative, avec retours sur la performance des unités.

Maintenance et gestion des actifs

Programmation automatisée des opérations d'entretien et de réparation pour éviter les arrêts coûteux. Surveillance des réfrigérateurs, éclairage, HVAC, portes, etc.

Suivi des états de portes & alertes

Surveillance des ouvertures de portes de chambres froides et congélateurs, ainsi que de leurs températures, pour éviter le gaspillage et la surconsommation.

AVANTAGES D'UN SYSTÈME DE GESTION TECHNIQUE DU BÂTIMENT

1. Gestion centralisée et simplifiée

Permet de piloter l'ensemble des installations (éclairage, HVAC, réfrigération, etc.) depuis une seule plateforme, réduisant les tâches manuelles et les erreurs.

2. Efficacité énergétique accrue et maîtrise des coûts

- Analyse en continu des consommations
- Régulation fine pour éviter les surconsommations post-travaux
- Validation du retour sur investissement des rénovations

3. Performance optimale du bâti

- Contrôle automatique des paramètres (température, hygrométrie, qualité d'air)
- Maintien des niveaux de confort tout en minimisant les déperditions

4. Élimination du gaspillage (alimentaire et énergétique)

- Surveillance des portes de chambres froides et alertes instantanées
- Optimisation de l'éclairage et réduction des temps d'éclairage inutile

5. Réduction des émissions de CO₂

- Moins de consommation d'énergie = impact climatique réduit
- Possibilité d'intégrer la production solaire ou d'autres énergies renouvelables

6. Allègement de la charge sur le réseau électrique

- Pilotage dynamique des charges
- Lissage des appels de puissance aux heures critiques

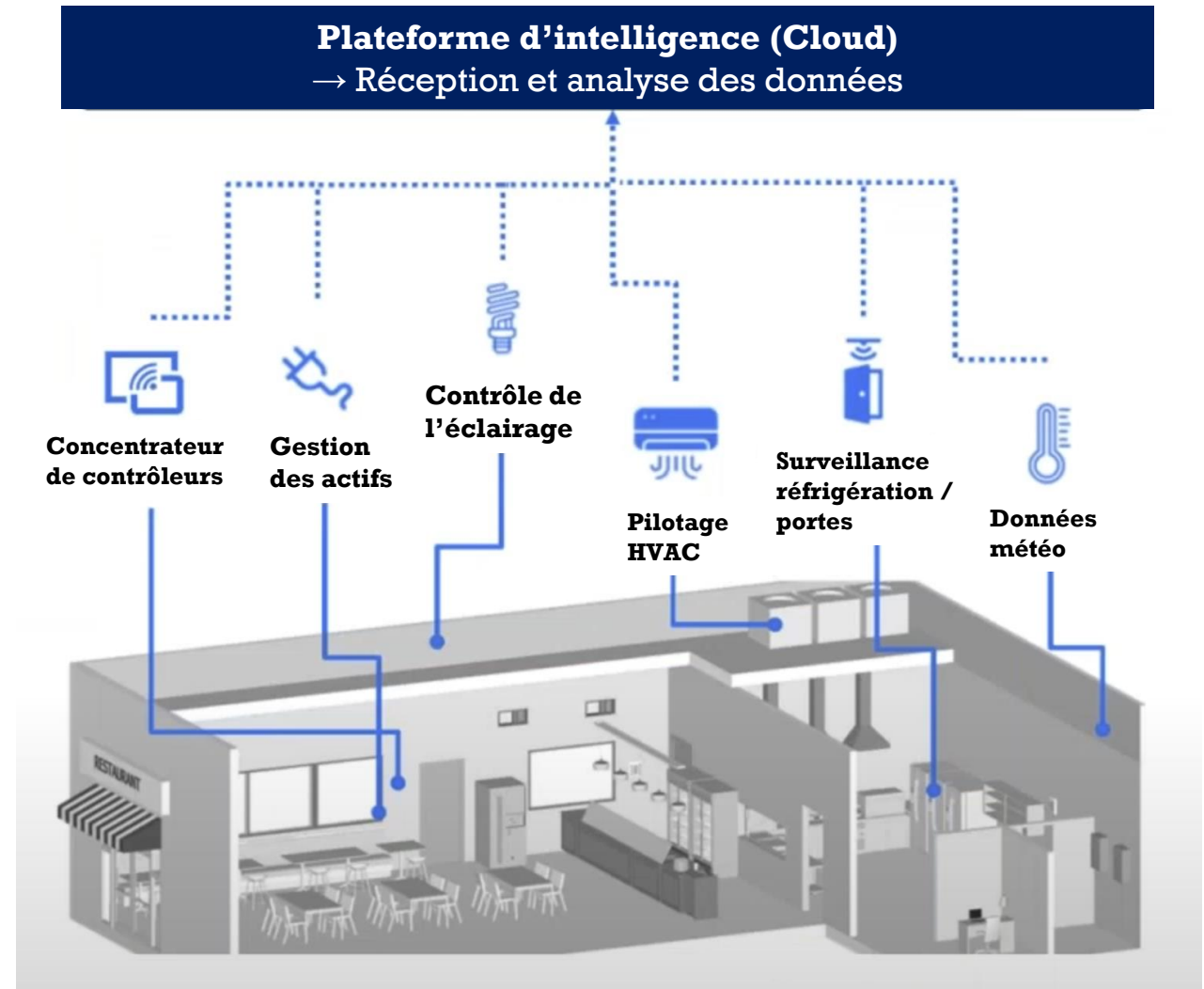


Schéma de principe (exemple de plateforme GridPoint)

Analytique des données en temps réel

– Les systèmes intelligents offrent des données et tableaux de bord en continu pour prendre des décisions éclairées et détecter immédiatement toute dégradation de la performance thermique (fuites, ponts thermiques).

Contexte réhabilitation : suivre instantanément l'évolution des consommations et de la température après travaux d'isolation.

Accès et contrôle à distance

– Pilotez vos équipements (chauffage, ventilation, éclairage, portes froides) depuis un smartphone ou un navigateur, où que vous soyez.

Contexte réhabilitation : ajuster à distance les consignes de chauffe ou de ventilation selon les conditions extérieures et l'occupation, sans retour sur site.

Algorithmes intelligents

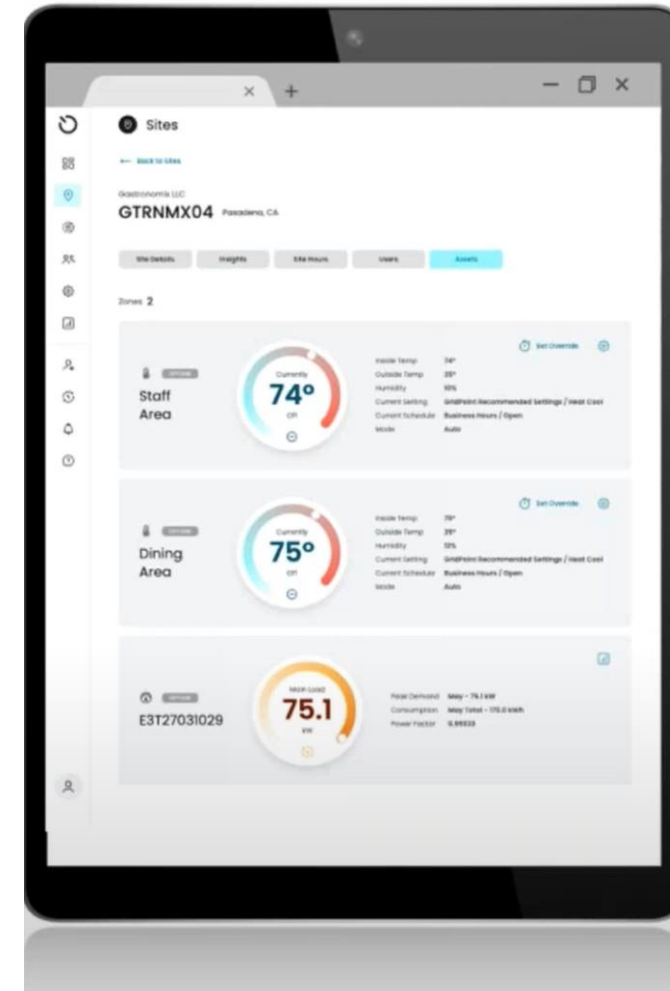
– Identification des gisements d'économie : optimisation automatique du chauffage, de la climatisation et de l'éclairage en fonction des taux d'occupation, des apports solaires et des profils d'usage.

Contexte réhabilitation : valider que l'isolation et les nouveaux équipements atteignent leurs rendements prévus en adaptant en temps réel leur fonctionnement.

Automatisation des tâches

– Programmez la régulation des luminaires, l'ajustement des plages de chauffage/climatisation et la planification de la maintenance, réduisant la charge opérationnelle des équipes.

Contexte réhabilitation : garantir le respect des scénarios de chauffe post-travaux, lancer automatiquement les visites de contrôle (thermographie, test d'étanchéité) et assurer le suivi des économies réalisées.



ALGORITHMES INTELLIGENTS



Réduction de la puissance (Load Curtailment)

Coupe ou limite automatiquement la consommation lors des pics de demande pour minimiser les coûts de pointe et éviter de solliciter excessivement le réseau, tout en préservant les gains issus de l'isolation et des rénovations.



Relance optimisée HVAC (HVAC Recovery)

Préconditionnement rapide et économe des zones inoccupées vers les consignes de confort : la montée en température (ou le rafraîchissement) se fait sans surconsommation, garantissant un confort immédiat en phase d'occupation après travaux.



Abaissement de consigne HVAC (HVAC Setback)

Passage automatisé des consignes de chauffe/climatisation à des températures réduites dès que l'espace n'est plus occupé, pour maintenir les économies d'énergie obtenues grâce à la rénovation thermique (isolation, étanchéité à l'air, fenêtres performantes).

"Les systèmes intelligents de gestion des bâtiments peuvent aider à identifier les zones de gaspillage énergétique et optimiser automatiquement le chauffage, la climatisation et l'éclairage en fonction de l'occupation et des habitudes d'utilisation, ce qui entraîne des économies de coûts significatives."



SONDAGE N°2 : QUELLES TECHNOLOGIES « INTELLIGENTES » VOTRE BÂTIMENT UTILISE-T-IL ACTUELLEMENT ?

- **Capteurs intelligents**
→ Mesure en continu de la température, de l'humidité, de la qualité de l'air et des consommations pour valider l'efficacité des travaux d'isolation.
- **Système de gestion technique du bâtiment (GTB/SGE)**
→ Plateforme centralisée pilotant éclairage, HVAC et équipements, essentielle pour garantir et vérifier les gains énergétiques post-rénovation.
- **Thermostats intelligents**
→ Régulation adaptative des consignes selon l'occupation, l'ensoleillement et les apports internes, pour maintenir les économies de chauffage/climatisation obtenues par la réhabilitation.
- **Compteurs intelligents**
→ Relevé granulaire des consommations électriques, gaz et eau pour analyser les tendances et mesurer précisément le retour sur investissement des travaux d'efficacité énergétique.



RÉSULTATS DU SONDAGE N°2 : TECHNOLOGIES « INTELLIGENTES » DÉPLOYÉES

Analyse & recommandations pour la réhabilitation énergétique :

- **GTB (67 %)** et **thermostats intelligents (58 %)** sont déjà largement installés : ils constituent la colonne vertébrale du pilotage énergétique post-rénovation.
- En revanche, **les capteurs** (température, CO₂, humidité, luminosité) et **les compteurs** (électricité, gaz, eau) sont moins répandus (moins de 40 %).
 - Or, pour **vérifier réellement** que les travaux d'isolation, de menuiseries et de systèmes chauffants atteignent les économies prévues, il est crucial de déployer **une instrumentation fine**.
 - **Action conseillée :**
 - Renforcer le maillage de capteurs dans les zones clés (façades, zones froides, points de déperdition).
 - Installer des compteurs individuels par circuit/climatisation afin de mesurer les gains spécifiques (avant/après réhabilitation).
 - **Objectif** : Coupler GTB + thermostats + capteurs + compteurs pour un **suivi complet** et un **pilotage proactif** de la performance énergétique dans la durée.

Technologie	% d'installations
Système de gestion technique (GTB)	67 %
Thermostats intelligents	58 %
Capteurs intelligents	39 %
Compteurs intelligents	25 %

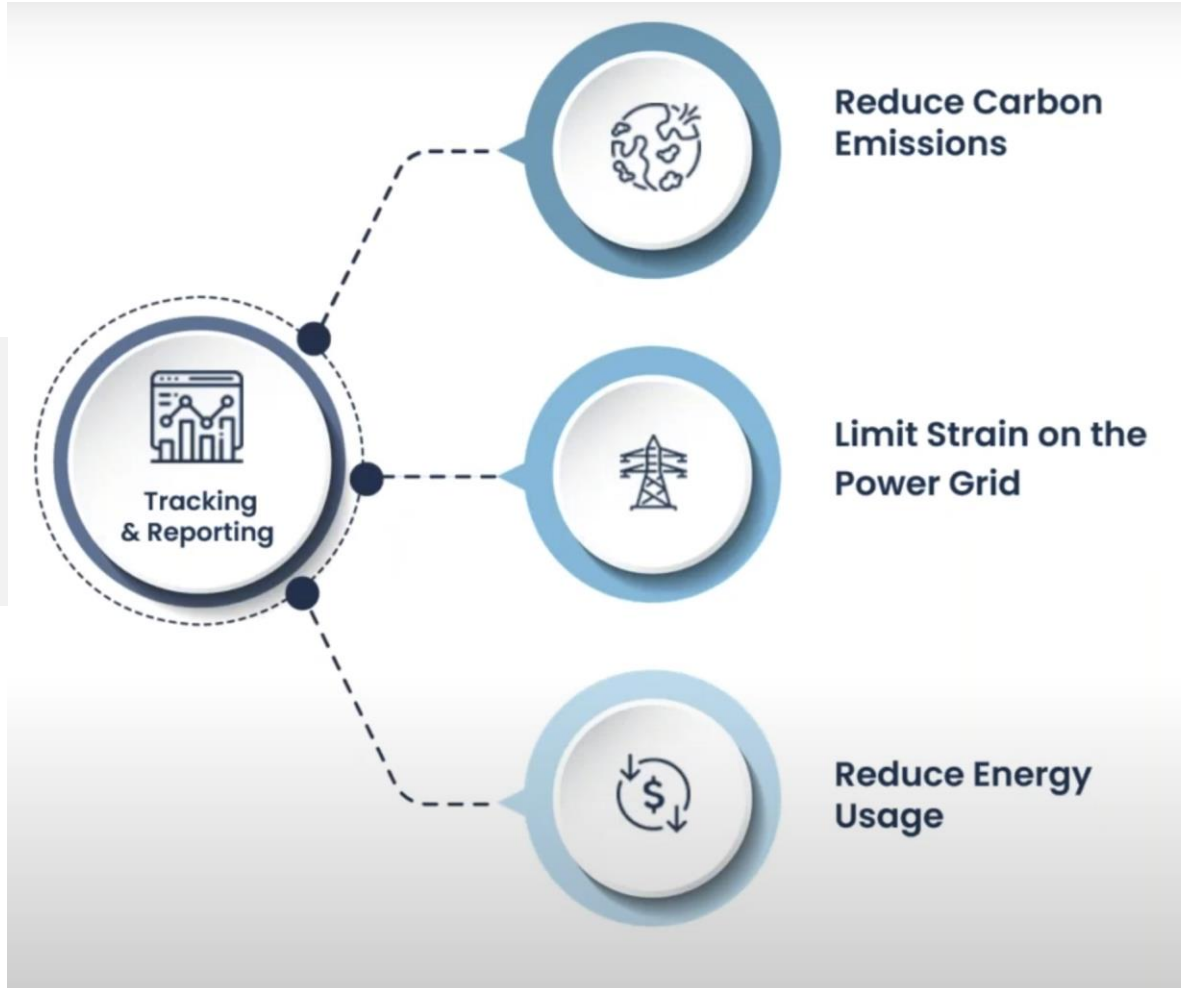


ASSURER LA DURABILITÉ AVEC LES BÂTIMENTS INTELLIGENTS

(LA DURABILITÉ AU CŒUR DES PRIORITÉS FINANCIÈRES ET DES INVESTISSEURS)

Suivi & reporting énergétique

– Centralisation et historisation en continu des données de consommation, de performance thermique et d'émissions de carbone.



Reduce Carbon Emissions

→ **Réduction des émissions de CO₂**
• Validation des gains de la rénovation (isolation, équipements) pour un bilan carbone maîtrisé.

Limit Strain on the Power Grid

→ **Limitation de la pression sur le réseau électrique**
• Pilotage des charges et lissage des appels de puissance aux heures de pointe, évitant les surcoûts et les risques de surcharge.

Reduce Energy Usage

→ **Diminution de la consommation d'énergie**
• Optimisation dynamique des systèmes (chauffage, climatisation, éclairage) en fonction des besoins réels, garantissant un retour sur investissement rapide et durable.



LES TROIS TYPES DE MAINTENANCE



Reactive

1. Maintenance réactive

Intervention **après panne** ou dysfonctionnement pour remettre l'équipement en état de marche.



Preventative

2. Maintenance préventive

Entretien **planifié** (réglages, nettoyage, lubrification, remplacements programmés) pour prolonger la durée de vie des actifs.



Predictive

3. Maintenance prédictive

Surveillance **continue** de l'état des équipements (capteurs de vibration, de courant, d'écart de température) pour anticiper les défaillances.

🔍 **Conseil :** combiner maintenance planifiée et prédictive maximise la fiabilité des nouveaux équipements et sécurise les gains énergétiques de votre projet de réhabilitation.



MAINTENANCE PRÉDICTIVE : EN CHIFFRES ET EN GAINS POUR LA RÉHABILITATION ÉNERGÉTIQUE

Indicateur	Bénéfice
8 – 12 %	Économies réalisées par la maintenance prédictive par rapport à la maintenance préventive (réglages, nettoyages planifiés). → Réduction des interventions planifiées inutiles et préservation des performances des isolants et équipements.
40 %	Gain possible par rapport à la maintenance réactive (interventions après panne). → Moins de pannes des pompes à chaleur et circuits de chauffage, garantissant la continuité des économies énergétiques attendues.
450 \$	Coût moyen d'une intervention de réparation HVAC (déplacement + main-d'œuvre). → Ce montant est économisé à chaque panne évitée grâce à l'anticipation des défauts.
32 354 unités	Nombre d'équipements (HVAC, pompes, ventilateurs...) signalant une anomalie l'an dernier via l'outil prédictif de santé des installations. → Détection précoce de défaillances (fuite de fluide, calamine, usure) pour sécuriser les gains post-rénovation.



Contexte réhabilitation énergétique :
La maintenance prédictive permet de **vérifier en permanence** que les systèmes rénovés (isolation, menuiseries, chauffages) fonctionnent à leur rendement nominal et d'intervenir **avant** que toute perte de performance n'impacte la facture énergétique.



AVANTAGES DE LA SURVEILLANCE PROACTIVE – ANALYSE DE SANTÉ DES INSTALLATIONS HVAC

Contexte réhabilitation énergétique
Cette **surveillance proactive** permet de garantir que les systèmes de chauffage, de climatisation et d'extraction installés ou révisés lors des travaux conservent leurs performances optimales, et d'anticiper toute dégradation avant qu'elle ne compromette les économies d'énergie attendues.

Icône	Problème HVAC	Détail complémentaire	Recommandations	Priorité
!	Unité ne consomme pas et ne refroidit pas	Sous-comptage à 0 kW ; suivi de la T° en gaine révèle un conditionnement inadéquat.	Vérifier sur site avec le personnel et dépanner dès que possible .	1
⚠	Unité ne consomme pas et ne chauffe pas	Sous-comptage à 0 kW ; suivi de la T° en gaine révèle un conditionnement inadéquat.	Vérifier sur site avec le personnel et dépanner dès que possible .	1
▲	Unité ne refroidit pas	Suivi de la T° en gaine révèle un conditionnement inadéquat.	Vérifier sur site et intervenir sous 72 h si l'anomalie est récurrente ou sévère.	2
▼	Unité ne chauffe pas	Suivi de la T° en gaine révèle un défaut de chauffe.	Vérifier l'intégrité du réseau et des capteurs, puis planifier une intervention sous 72 h si nécessaire.	2
●	Unité refroidit mais n'atteint pas la consigne	Conditionnement adéquat ; possible porte/fenêtre ouverte, unité sous-dimensionnée ou mauvais positionnement du capteur.	Surveiller le fonctionnement, contrôler l'emplacement des capteurs et maintenir un entretien régulier.	3
●	Unité chauffe mais n'atteint pas la consigne	Conditionnement adéquat ; mêmes causes possibles que ci-dessus (fuite, capteur mal placé).	Surveiller, vérifier les capteurs et effectuer l'entretien courant.	3
▲	Température de zone au-dessus de la consigne de froid	Pas de sous-comptage ni de capteurs en gaine ; seule la consigne fait office de référence pour diagnostiquer l'écart.	Surveiller la zone et intervenir selon besoin pour tout problème sévère ou récurrent.	4
▼	Température de zone en dessous de la consigne de chaud	Pas de sous-comptage ni de capteurs en gaine ; seul l'écart avec la consigne permet d'identifier l'anomalie.	Surveiller la zone et intervenir selon besoin pour tout problème sévère ou récurrent.	4

CONCLUSION

En intégrant les enseignements de cette présentation, on retiendra que **la réhabilitation énergétique** d'un bâtiment ne se limite pas à des travaux d'isolation ou au remplacement d'équipements : elle doit s'accompagner d'une **démarche de pilotage et de suivi** continu, reposant sur :

1. Une GTB évoluée

1. Plateforme unique centralisant la commande de l'éclairage, du chauffage, de la ventilation et de la réfrigération.

2. Une instrumentation fine

1. Capteurs (température, CO₂, humidité, luminosité), compteurs et thermostats intelligents pour mesurer en permanence les performances post-travaux.

3. Des algorithmes et automatisations

1. Optimisation dynamique des consignes (setback, recovery, load curtailment) pour préserver les économies et assurer le confort.

4. Une maintenance proactive

1. Stratégie prédictive combinée à des entretiens planifiés qui prolonge la durée de vie des installations et sécurise le retour sur investissement.



PERSPECTIVES POUR ALLER PLUS LOIN :

- **Renforcer le maillage de capteurs** dans les zones critiques (façades, points de déperdition)
- **Mettre en place des tableaux de bord KPI** (consommations, émissions CO₂, coûts de maintenance) pour piloter les objectifs de performance
- **Intégrer si possible des productions locales d'énergies renouvelables** (solaire thermique/photovoltaïque, géothermie)
- **Former et impliquer** les équipes de facility management pour que les données alimentent une culture d'amélioration continue

En somme, la **performance énergétique durable** repose sur la synergie entre **travaux de rénovation**, **technologies intelligentes** et **organisation de la maintenance** : c'est cette approche holistique qui garantit des bâtiments durables, confortables et économiquement viables.

