

Optimisation énergétique par l'analyse des consommations de la régulation des systèmes techniques : cas de l'école

Auteur : Vandael, Justin

Promoteur(s) : Monfils, Stéphane; 2770

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée

Année académique : 2025-2026

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/26532>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Annexes

I. Modèle Simulation Studio

TABLEAU 27 - DESCRIPTION DES COMPOSANTS UTILISÉS DANS LE MODÈLE SIMULATION STUDIO

Image	Nom	Fonction	Rôle dans ce mémoire
	Type 56 – Building (TRNBuild)	Composant principal de la simulation thermique dynamique. Il applique le modèle créé dans TRNBuild pour calculer, à chaque pas de temps, les températures intérieures, les besoins en chauffage et en refroidissement, ainsi que l'influence des conditions météorologiques, des gains internes et des systèmes techniques sur le comportement thermique du bâtiment.	Cette partie décrit tous les bâtiments étudiés et constitue le cœur du modèle de simulation. À ce niveau, toutes les données d'entrée (météo, chauffage, occupation, gains internes, infiltration, etc.) sont prises en compte pour calculer les variables à analyser ultérieurement.
	Type 25c - Printer	Composant appliqué pour l'enregistrement des résultats de la simulation sous forme de texte. Il permet d'exporter les variables choisies (températures, puissances de chauffage, gains internes, etc.) et de les utiliser plus tard dans un programme externe tel qu'Excel pour le traitement et l'analyse des données.	Cette partie a été utilisée pour enregistrer les variables de sortie du modèle sur une année complète avec un pas de temps horaire. Les fichiers texte ont été importés dans Excel, qui ont été utilisés pour évaluer à la fois la quantité annuelle d'énergie consommée et les indicateurs statistiques de température.
	Type 77 – Online Plotter	Composant de visualisation qui permet de visualiser l'évolution d'une ou plusieurs variables pendant l'exécution de la simulation. Il facilite le suivi du bon fonctionnement du modèle et la vérification des résultats obtenus en temps réel.	Ce composant n'a été utilisé que comme outil de vérification lors de la construction du modèle. Les graphiques générés dans Simulation Studio n'ont pas été utilisés pour l'analyse finale des résultats. Toutes les données ont été exportées vers Excel pour effectuer le traitement statistique et les représentations graphiques présentées dans ce mémoire.
	Type 15 – Weather Data Reader	Un composant est responsable de la lecture des données météorologiques à partir d'un fichier climatique et de leur envoi au modèle de simulation. Il fournit, en particulier, la température extérieure, le rayonnement solaire, l'humidité relative, la vitesse du vent et d'autres paramètres nécessaires au calcul du comportement thermique du bâtiment.	La station d'Uccle, choisie comme station de référence en raison de sa proximité avec la ville de Liège et de la disponibilité de données climatiques compatibles avec TRNSYS, a été utilisée comme source pour importer les données météorologiques. Ces conditions météorologiques ont donc servi de données d'entrée pour toutes les simulations.
	Wizard Settings	Partie générale de la configuration du projet TRNSYS. Elle spécifie les caractéristiques globales de la simulation, par exemple la période d'étude, le pas de temps, les unités employées et certains paramètres généraux nécessaires pour assurer le fonctionnement du modèle	Ce composant servait à définir les paramètres généraux de toutes les simulations effectuées sur une année complète, du 1er janvier au 31 décembre, avec un pas de temps horaire. C'était le point central de configuration du projet et le calcul cohérent des résultats du modèle à partir de tous ses composants.

	Radiation Unit Converter	Composant pour transformer les unités de rayonnement solaire à partir du fichier météo, afin qu'elles puissent être intégrées avec les unités requises par le modèle thermique. Cela garantit un transfert correct des informations de rayonnement à la structure simulée.	Ce composant a été utilisé pour modifier les données de rayonnement solaire de la station météorologique et les envoyer ensuite au modèle TRNBuild. Cette conversion assure la cohérence des unités utilisées dans la simulation et permet de prendre correctement en compte les gains solaires dans le calcul du comportement thermique des bâtiments.
	Q_heat_cool_Plotter	Composant de visualisation graphique qui permet de suivre l'évolution des besoins de chauffage et/ou de refroidissement calculés par le modèle pendant la simulation. Il offre un contrôle rapide de la cohérence des résultats générés.	Ce composant n'a été utilisé que comme outil de vérification lors du développement et de la validation du modèle. Les graphiques produits dans <i>Simulation Studio</i> n'ont pas été utilisés pour l'analyse finale. Les résultats ont été exportés vers <i>Excel</i> pour effectuer le traitement statistique et les représentations graphiques présentées dans ce mémoire.
	T_Plotter	Composant de visualisation graphique pour représenter le changement de température construit par le modèle calculé à travers la simulation pour les données visuelles. Il permet la vérification du comportement thermique des zones simulées et la détection d'anomalies dans les résultats de la simulation.	Ce composant a été utilisé uniquement à des fins de contrôle lors du développement du modèle. Il a permis une vérification rapide des changements de température intérieure simulés et la détection de toute erreur de paramétrage. Cependant, les résultats présentés dans ce rapport proviennent de données exportées vers <i>Excel</i> et non des graphiques générés directement dans <i>Simulation Studio</i> .

II. Encodage TRNBuild

a. Chauffage

TABLEAU 28 - PROGRAMMATIONS DES CHAUDIÈRES DES BÂTIMENTS 22 POUR LES DIFFÉRENTES SIMULATIONS

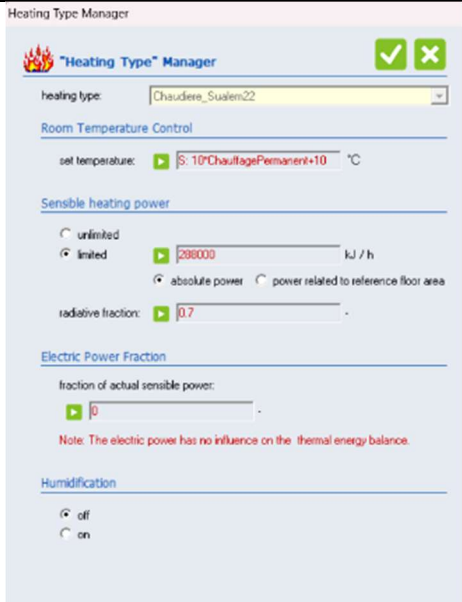
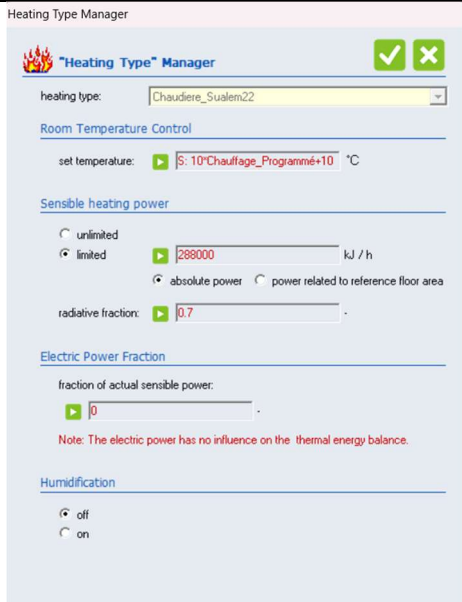
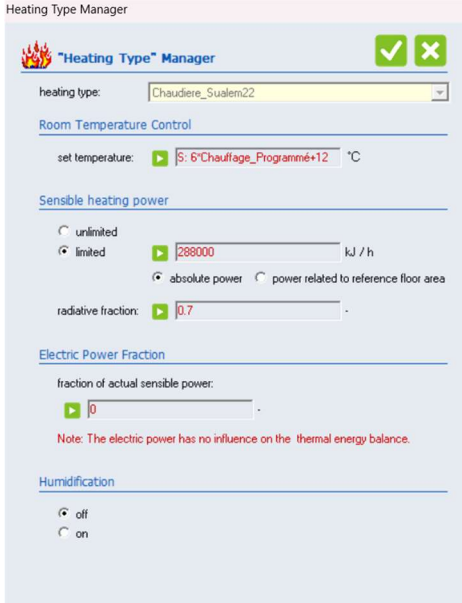
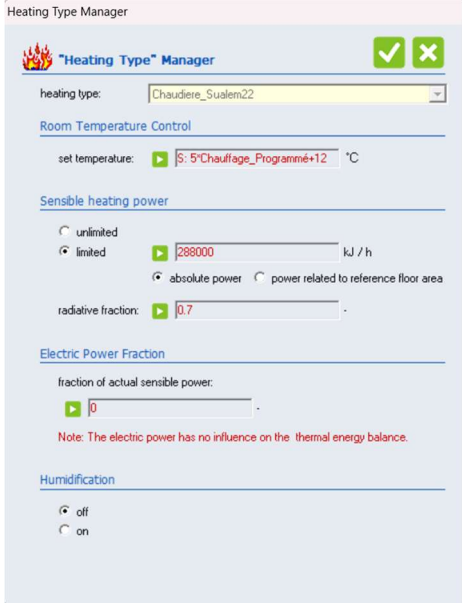
Bâtiments 22	
	
FIGURE 45 - ENCODAGE CHAUDIÈRE BÂTIMENTS 22 (PERMANENT)	FIGURE 46 - ENCODAGE CHAUDIÈRE BÂTIMENTS 22 (PROGRAMMÉ)
	
FIGURE 47 - ENCODAGE CHAUDIÈRE BÂTIMENTS 22 (OPTIMISATION 1)	FIGURE 48 - ENCODAGE CHAUDIÈRE BÂTIMENTS 22 (OPTIMISATION 2)

TABLEAU 29 - PROGRAMMATIONS DES CHAUDIÈRES DES BÂTIMENTS 24 & 26 POUR LES DIFFÉRENTES SIMULATIONS

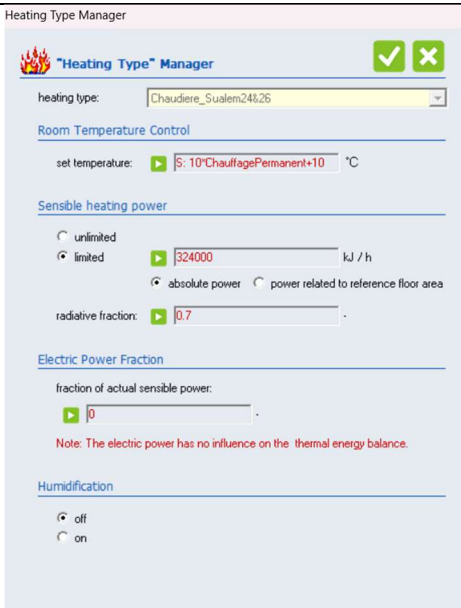
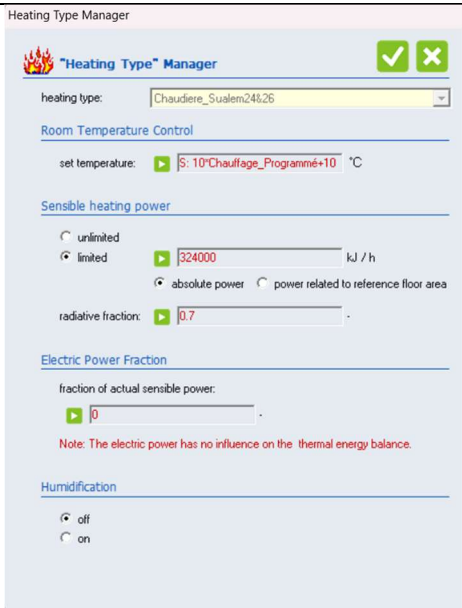
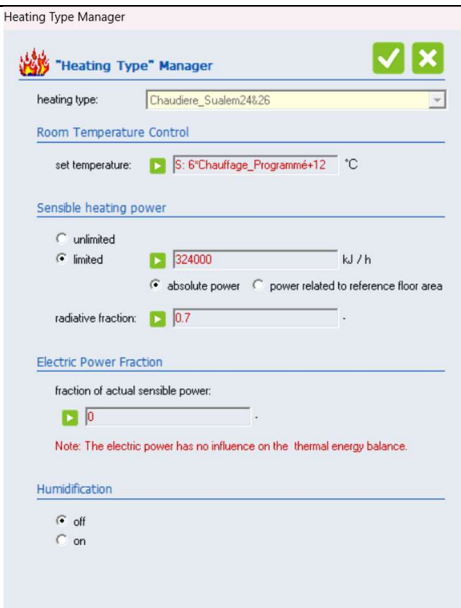
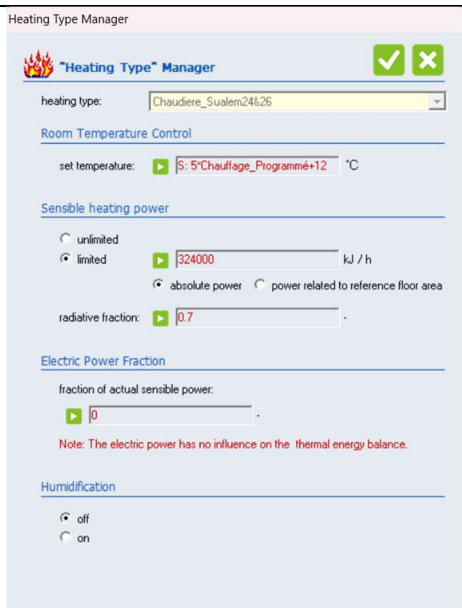
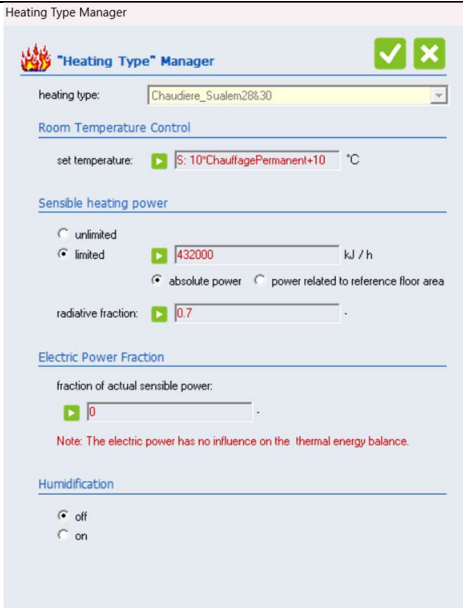
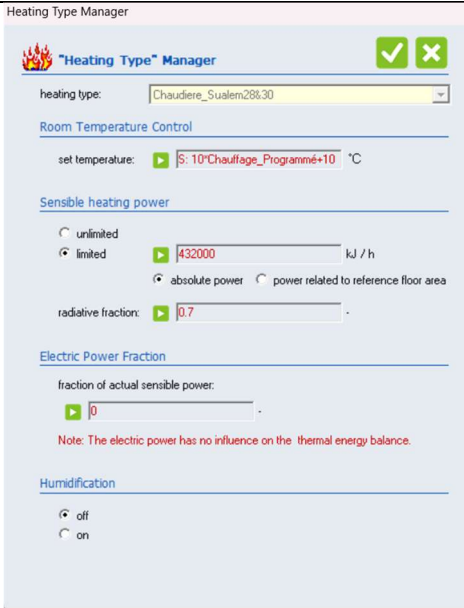
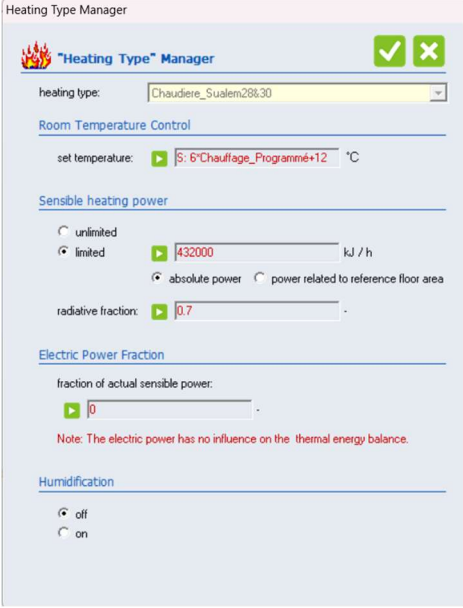
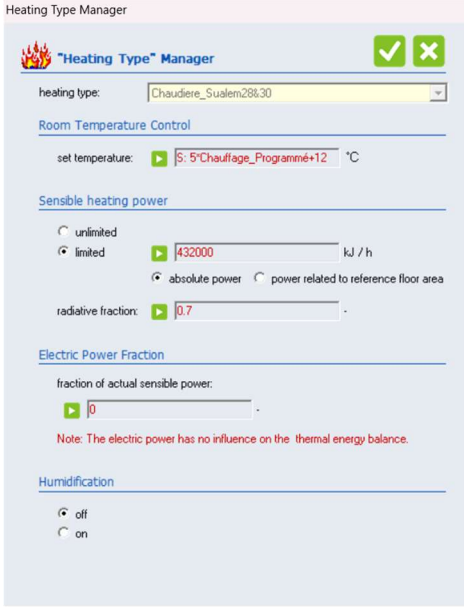
Bâtiments 24 & 26	
	
FIGURE 49 - ENCODAGE CHAUDIÈRE BÂTIMENTS 24 & 26 (PERMANENT)	FIGURE 50 - ENCODAGE CHAUDIÈRE BÂTIMENTS 24 & 26 (PROGRAMMÉ)
	
FIGURE 51 - ENCODAGE CHAUDIÈRE BÂTIMENTS 24 & 26 (OPTIMISATION 1)	FIGURE 52 - ENCODAGE CHAUDIÈRE BÂTIMENTS 24 & 26 (OPTIMISATION 2)

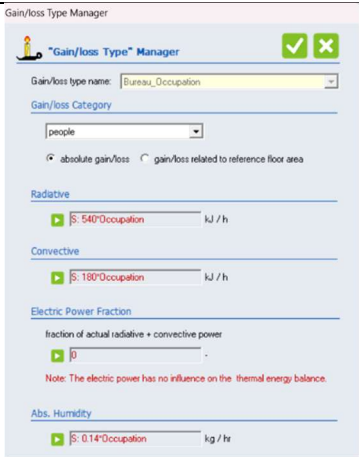
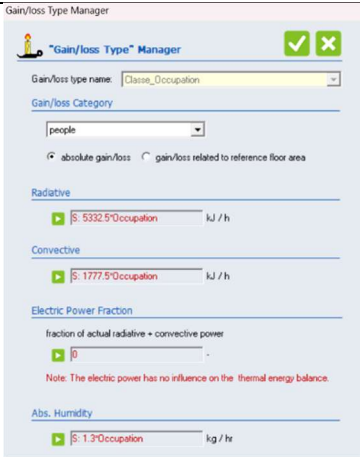
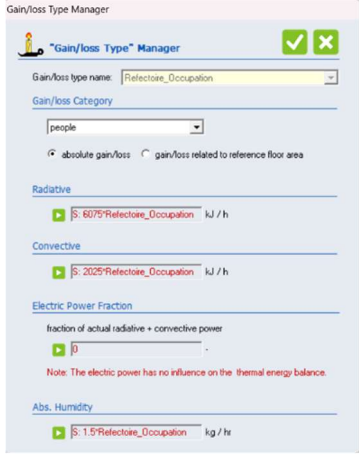
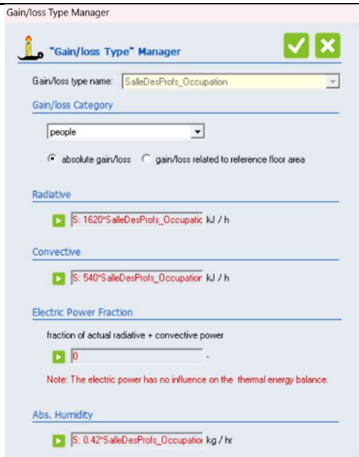
TABLEAU 30 - PROGRAMMATIONS DES CHAUDIÈRES DES BÂTIMENTS 28 & 30 POUR LES DIFFÉRENTES SIMULATIONS

Bâtiments 28 & 30	
	
FIGURE 53 - ENCODAGE CHAUDIÈRE BÂTIMENTS 28 & 30 (PERMANENT)	FIGURE 54 - ENCODAGE CHAUDIÈRE BÂTIMENTS 28 & 30 (PROGRAMMÉ)
	
FIGURE 55 - ENCODAGE CHAUDIÈRE BÂTIMENT 28 & 30 (OPTIMISATION 1)	FIGURE 56 - ENCODAGE CHAUDIÈRE BÂTIMENTS 28 & 30 (OPTIMISATION 2)

b. Gains internes

➤ Occupation

TABLEAU 31 - ENCODAGES DES OCCUPATIONS POUR LES DIFFÉRENTS LOCAUX

Occupations des locaux	
	
FIGURE 57 - ENCODAGE OCCUPATION DANS UN BUREAU	FIGURE 58 - ENCODAGE OCCUPATION DANS UNE CLASSE
	
FIGURE 59 - ENCODAGE OCCUPATION DANS UN RÉFECTOIRE	FIGURE 60 - ENCODAGE OCCUPATION DANS UNE SALLE DE RÉUNION
	
FIGURE 61 - ENCODAGE OCCUPATION DANS UNE SALLE DES PROFS	

➤ Équipements électriques

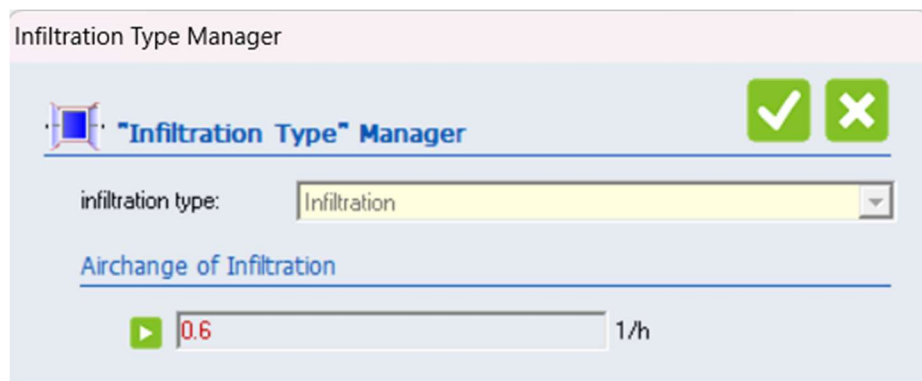
TABEAU 32 - ENCODAGES DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES POUR LES DIFFÉRENTS LOCAUX

Équipements électriques et éclairage	
Gain/loss Type Manager "Gain/loss Type" Manager Gain/loss type name: ligh_6W/m2 Gain/loss Category: lights ☒ absolute gain/loss ☐ gain/loss related to reference floor area Radiative: 12.96 kJ / h m² Convective: 8.64 kJ / h m² Electric Power Fraction: 1 - Note: The electric power has no influence on the thermal energy balance. Abs. Humidity: 0 kg / hr m²	Gain/loss Type Manager "Gain/loss Type" Manager Gain/loss type name: ArmoireInfo Gain/loss Category: electrical equipment ☒ absolute gain/loss ☐ gain/loss related to reference floor area Radiative: 270 kJ / h Convective: 1530 kJ / h Electric Power Fraction: 1 - Note: The electric power has no influence on the thermal energy balance. Abs. Humidity: 0 kg / hr
FIGURE 62 - ENCODAGE DE L'ÉCLAIRAGE	FIGURE 63 - ENCODAGE DE L'ARMOIRE INFORMATIQUE
Gain/loss Type Manager "Gain/loss Type" Manager Gain/loss type name: Boiler10L Gain/loss Category: electrical equipment ☒ absolute gain/loss ☐ gain/loss related to reference floor area Radiative: S: 10.8*Occupation kJ / h Convective: S: 43.2*Occupation kJ / h Electric Power Fraction: 1 - Note: The electric power has no influence on the thermal energy balance. Abs. Humidity: 0 kg / hr	Gain/loss Type Manager "Gain/loss Type" Manager Gain/loss type name: Boiler180L Gain/loss Category: electrical equipment ☒ absolute gain/loss ☐ gain/loss related to reference floor area Radiative: S: 57.6*Occupation kJ / h Convective: S: 230.4*Occupation kJ / h Electric Power Fraction: 1 - Note: The electric power has no influence on the thermal energy balance. Abs. Humidity: 0 kg / hr
FIGURE 64 - ENCODAGE DU BOILER DE 10L	FIGURE 65 - ENCODAGE DU BOILER DE 180L

TABLEAU 33 - ENCODAGES DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES POUR LES DIFFÉRENTS LOCAUX (SUITE)

FIGURE 66 - ENCODAGE ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES D'UN BUREAU	FIGURE 67 - ENCODAGE ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES D'UNE CLASSE
FIGURE 68 - ENCODAGE ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES D'UNE CUISINE	FIGURE 69 - ENCODAGE ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES D'UNE SALLE DE RÉUNION

➤ *Infiltration*



Infiltration Type Manager

 "Infiltration Type" Manager  

infiltration type:

Airchange of Infiltration

 1/h

FIGURE 70 - ENCODAGE DE L'INFILTRATION DE L'AIR

III. Formules Excel utilisées

a. Formules utilisées pour l'analyse de données de monitoring

Reading	Date / Time (UTC)			Température	Humidité (%)	Dew Point (°C T - D.P. (°C)		
1	16-12-25 06:00	06:00:00	Nuit	16.06	51.6	6.09	9.97	Normal
2	16-12-25 06:15	06:15:00	Nuit	16.05	51.7	6.11	9.94	Normal
3	16-12-25 06:30	06:30:00	Nuit	16.03	51.8	6.12	9.91	Normal
4	16-12-25 06:45	06:45:00	Nuit	16.02	51.9	6.14	9.88	Normal
5	16-12-25 07:00	07:00:00	Nuit	16.06	52	6.2	9.86	Normal
6	16-12-25 07:15	07:15:00	Jour	16.09	52.2	6.29	9.8	Normal
7	16-12-25 07:30	07:30:00	Jour	16.13	52.3	6.35	9.78	Normal
8	16-12-25 07:45	07:45:00	Jour	16.12	52.6	6.42	9.7	Normal
9	16-12-25 08:00	08:00:00	Jour	16.06	52.9	6.45	9.61	Normal
10	16-12-25 08:15	08:15:00	Jour	16.02	53	6.44	9.58	Normal
11	16-12-25 08:30	08:30:00	Jour	16.17	54	6.85	9.32	Normal
12	16-12-25 08:45	08:45:00	Jour	16.12	53.3	6.62	9.5	Normal
13	16-12-25 09:00	09:00:00	Jour	16.1	53.3	6.6	9.5	Normal
14	16-12-25 09:15	09:15:00	Jour	16.82	55	7.72	9.1	Normal
15	16-12-25 09:30	09:30:00	Jour	17.4	55.2	8.32	9.08	Normal
16	16-12-25 09:45	09:45:00	Jour	17.76	55	8.6	9.16	Normal
17	16-12-25 10:00	10:00:00	Jour	18.12	54.8	8.88	9.24	Normal
18	16-12-25 10:15	10:15:00	Jour	19.41	53.2	9.64	9.77	Normal
19	16-12-25 10:30	10:30:00	Jour	19.67	52.2	9.6	10.07	Air sec
20	16-12-25 10:45	10:45:00	Jour	20.14	51.9	9.95	10.19	Air sec

FIGURE 71 - EXEMPLE DE FICHIER EXCEL AVEC LES DONNÉES DE RELEVÉS D'UN CAPTEUR

➤ Distinction périodes de vacances des périodes scolaires

ÉQUATION 3 - INDIQUER SI LA DATE CORRESPOND À DES VACANCES OU À DES JOURS SCOLAIRES

$$SI(OU(ET(LIGNE() \geq 564; LIGNE() \leq 1907); ET(LIGNE() \geq 5940; LIGNE() \leq 7283)); "Vacances"; "Scolaire")$$

Cette formule permet de distinguer automatiquement les périodes de vacances scolaires des périodes scolaires au sein des données récoltées par les capteurs.

➤ Distinction jour et nuit

ÉQUATION 4 - INDIQUER "JOUR" OU "NUIT"

$$SI(ET(C12 \geq TEMPS(7; 0; 0); C12 \leq TEMPS(18; 0; 0)); "Jour"; "Nuit")$$

Cette formule permet de classer automatiquement chaque mesure en période de jour ou de nuit en fonction de l'heure d'enregistrement.

➤ Nombre d'heures sous 18°C

ÉQUATION 5 - NOMBRE D'HEURES SOUS 18°C

$$NB.SI(E564:E1907; "< 18") * 0.25$$

Cette formule permet de calculer le nombre d'heures durant lesquelles la température intérieure est restée inférieure à 18 °C sur la période analysée.

➤ Nombre d'heures au-dessus de 23°C

ÉQUATION 6 - NOMBRE D'HEURES AU-DESSUS DE 23°C

$$NB.SI(E564:E1907; "> 23") * 0.25$$

Calculer le nombre d'heures durant lesquelles la température intérieure a dépassé le seuil de confort de 23°C.

➤ *Pourcentage de mesures sous 18°C*

ÉQUATION 7 - POURCENTAGE DE MESURE SOUS 18°C

$$NB.SI(E564:E1907;" < 18")/NB(E564:E1907)$$

Déterminer la proportion de mesures pour lesquelles la température intérieure est inférieure à 18°C.

➤ *Pourcentage de mesures sous 18°C en période de jour*

ÉQUATION 8 - POURCENTAGE DE MESURES SOUS 18°C EN PÉRIODE DE JOUR

$$\begin{aligned} NB.SI.ENS(E564:E1907;" < 18"; C564:C1907;" >= "&TEMP(7; 0; 0); C564:C1907;" < \\ &= "&TEMP(18; 0; 0)))/ NB.SI.ENS(C564:C1907;" > \\ &= "&TEMP(7; 0; 0); C564:C1907;" <= "&TEMP(18; 0; 0)) \end{aligned}$$

Déterminer la proportion de mesures inférieures à 18 °C pendant les heures de présence potentielles des occupants.

➤ *Date de la température minimale*

ÉQUATION 9 - DATE TEMPÉRATURE MINIMALE

$$INDEX(B564:B1907;EQUIV(MIN(E564:E1907);E564:E1907;0))$$

Identifier la date à laquelle la température minimale a été enregistrée.

➤ *Date de la température maximale*

ÉQUATION 10 - DATE TEMPÉRATURE MAXIMALE

$$INDEX(B564:B1907;EQUIV(MAX(E564:E1907);E564:E1907;0))$$

Identifier la date à laquelle la température maximale a été enregistrée.

➤ *Température moyenne en période de jour*

ÉQUATION 11 - TEMPÉRATURE MOYENNE EN JOURNÉE

$$MOYENNE.SI(D564:D1907;"Jour";E564:E1907)$$

Calculer la température moyenne entre 7 h et 18 h.

➤ *Température moyenne en période de nuit*

ÉQUATION 12 - TEMPÉRATURE MOYENNE DE NUIT

$$MOYENNE.SI(D564:D1907;"Nuit";E564:E1907)$$

Calculer la température moyenne entre 18 h et 7 h.

➤ *Écart de température entre le jour et la nuit*

ÉQUATION 13 - ÉCART DE TEMPÉRATURE JOUR/NUIT

$$L37 - L38$$

Comparer les températures moyennes observées durant la journée et durant la nuit.

Les mêmes formules ont été appliquées aux colonnes d'humidité relative.

➤ *Écart-type sur la période hors vacances*

ÉQUATION 14 - ÉCART-TYPE SUR LA PÉRIODE HORS VACANCES

$$ECARTYPE(FILTRE(C:C;(M:M="Scolaire")))$$

Cette formule calcule l'écart-type des températures mesurées durant les périodes scolaires. Elle permet d'évaluer la variabilité des températures autour de la moyenne et donc la stabilité thermique du local étudié.

➤ *Écart-type en journée sur la période hors vacances*

ÉQUATION 15 - ÉCART-TYPE EN JOURNÉE SUR LA PÉRIODE HORS VACANCES

$$ECARTYPE(FILTRE(C:C;(L:L="Jour")*(M:M="Scolaire")))$$

Cette formule calcule l'écart-type des températures enregistrées durant les périodes scolaires entre 7 h et 18 h. Elle permet d'évaluer la stabilité thermique du local pendant les heures d'occupation.

➤ *Écart-type la nuit sur la période hors vacances*

ÉQUATION 16 - ÉCART-TYPE LA NUIT SUR LA PÉRIODE HORS VACANCES

$$ECARTYPE(FILTRE(C:C;(L:L="Nuit")*(M:M="Scolaire")))$$

Cette formule calcule l'écart-type des températures enregistrées durant les périodes scolaires entre 18 h et 7 h. Elle permet d'évaluer l'amplitude des variations thermiques lorsque les bâtiments sont peu ou pas occupés.

b. Formules utilisées pour le traitement des résultats de simulation

➤ Somme des besoins de chauffage

ÉQUATION 17 - SOMME DES BESOINS DE CHAUFFAGE

$$SOUS.TOTAL(109; [QHEAT_ADMIN])$$

Cette formule permet de calculer la somme des besoins de chauffage (QHeat) du bâtiment Administration sur l'ensemble de la période étudiée tout en tenant compte des éventuels filtres appliqués dans le tableau Excel.

La formule étant la même pour calculer QEIEquip et QEILight pour chaque zone thermique.

➤ Conversion des kJ/h en kWh

ÉQUATION 18 - CONVERSION D'UNITÉ

$$SOUS.TOTAL(109; [QHEAT_ADMIN])/3600$$

Cette formule permet de calculer directement la consommation annuelle de chauffage du bâtiment Administration en kWh à partir des résultats bruts issus de la simulation.

➤ Moyenne des température

ÉQUATION 19 - MOYENNE DES TEMPÉRATURES

$$MOYENNE(R2:R8762)$$

Cette formule permet de calculer la température moyenne annuelle d'un local ou d'un bâtiment à partir des valeurs horaires obtenues lors de la simulation.

➤ Température maximale

ÉQUATION 20 - TEMPÉRATURE MAXIMALE

$$MAX(R2:R8762)$$

Cette formule permet de déterminer la température maximale atteinte dans un local ou un bâtiment au cours de la période simulée.

➤ Température minimale

ÉQUATION 21 - TEMPÉRATURE MINIMALE

$$MIN(R2:R8762)$$

Cette formule permet de déterminer la température minimale observée dans un local ou un bâtiment au cours de la période simulée.

➤ Écart-type

ÉQUATION 22 - ÉCART-TYPE DES TEMPÉRATURES

$$ECARTYPE(R2:R8762)$$

Cette formule permet de calculer l'écart-type des températures simulées.

➤ Médiane

ÉQUATION 23 - TEMPÉRATURE MÉDIANE

$$MEDIANE(R2:R8762)$$

Cette formule permet de calculer la température médiane observée au cours de la période simulée.

IV. Résumé du cours sur la PEB

Le cours sur la Performance Énergétique des Bâtiments (PEB) a été conçu comme une campagne de sensibilisation destinée aux élèves du secondaire. Il vise à les informer sur les défis énergétiques actuels dans les bâtiments, leur fonctionnement énergétique, et l'impact des réglementations PEB pour gérer les processus de transition énergétique.

Le cours est structuré en quatre chapitres principaux.

a. Chapitre 1 : Pourquoi l'énergie est devenue un enjeu majeur ?

Cette section introduit les enjeux énergétiques actuels. Les étudiants apprennent le rôle de l'énergie dans la vie quotidienne et à quel point notre société dépend de l'électricité, du chauffage et des combustibles fossiles.

Certains des thèmes clés abordés incluent :

- L'augmentation de la consommation énergétique mondiale
- Les conséquences économiques des récentes crises énergétiques
- La hausse des prix du gaz et de l'électricité
- Les impacts environnementaux liés aux émissions de gaz à effet de serre
- Le rôle du secteur du bâtiment dans la consommation énergétique
- Les liens entre la consommation énergétique, le confort des occupants et la qualité de vie.

Cela souligne l'importance de réduire la consommation énergétique pour diminuer les coûts, limiter les émissions de CO₂ et améliorer le confort intérieur.

b. Chapitre 2 : Comprendre le fonctionnement d'un bâtiment

Cette partie présente les principes physiques qui influencent les performances énergétiques d'un bâtiment.

Les notions développées sont :

1. Les transferts de chaleur
 - a. Conduction,
 - b. Convection,
 - c. Rayonnement.

Les élèves apprennent comment la chaleur se déplace naturellement d'une zone chaude vers une zone froide et comment ces phénomènes influencent les besoins de chauffage.

2. L'isolation thermique
 - a. Le rôle de l'isolation,
 - b. L'influence de la toiture, des murs et du sol,
 - c. Les performances des différents types de vitrage,
 - d. Les pertes thermiques dans les bâtiments.
3. Les ponts thermiques et l'étanchéité à l'air
 - a. Pont thermique,
 - b. Infiltration d'air,
 - c. Condensation,
 - d. Moisissures

sont présentées afin de comprendre leurs impacts sur le confort et les consommations énergétiques.

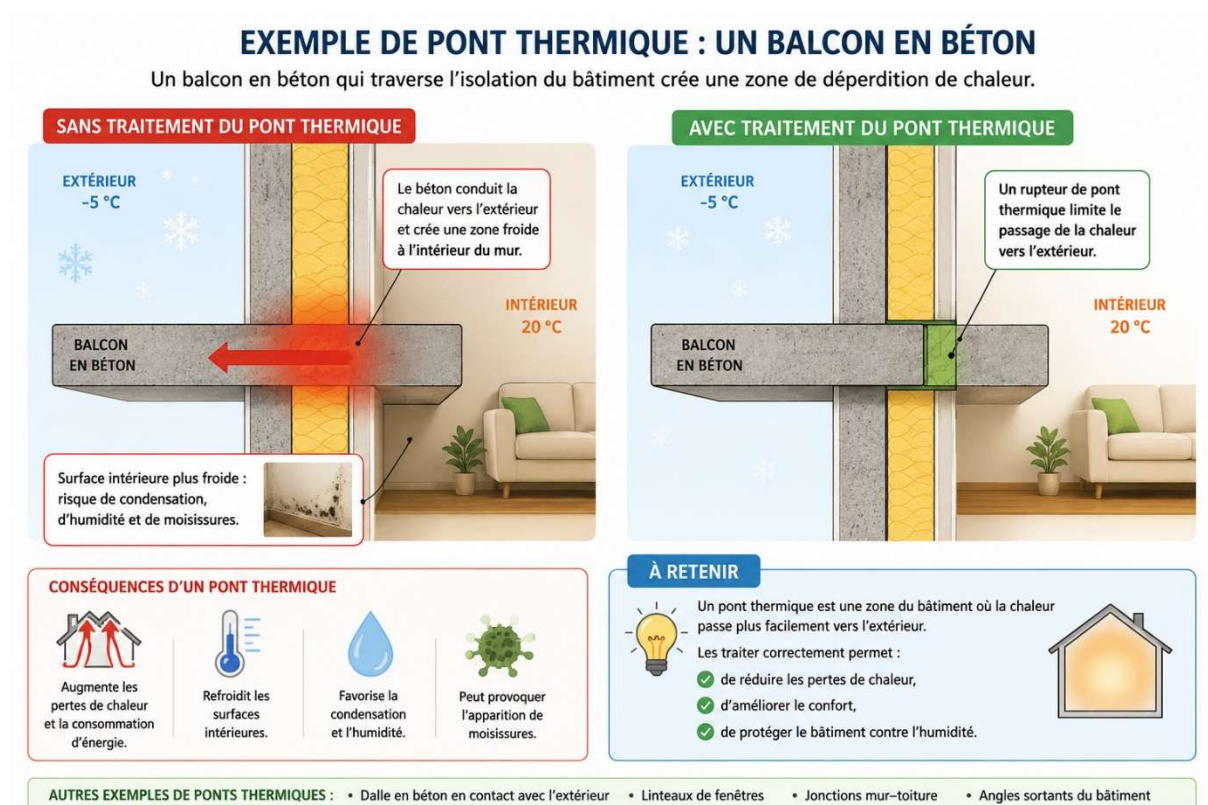


FIGURE 72 - SCHÉMA D'EXPLICATION DES PONTS THERMIQUES (OPENAI, 2026)

4. La ventilation

- a. Système A,
- b. Système B,
- c. Système C,
- d. Système D.

Le rôle de la ventilation dans la qualité de l'air intérieur, la gestion de l'humidité et la réduction du CO₂ est expliqué.

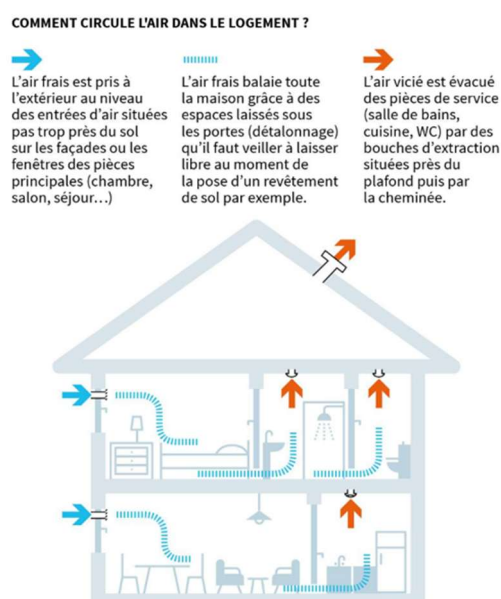


FIGURE 73 - COMMENT CIRCULE L'AIR DANS LE LOGEMENT ? (OPENAI, 2026)

5. Les systèmes techniques
 - a. Les chaudières,
 - b. Les radiateurs,
 - c. Les planchers chauffants,
 - d. Les pompes à chaleur,
 - e. Les systèmes de régulation.

Les élèves découvrent comment les équipements techniques influencent les consommations énergétiques d'un bâtiment.

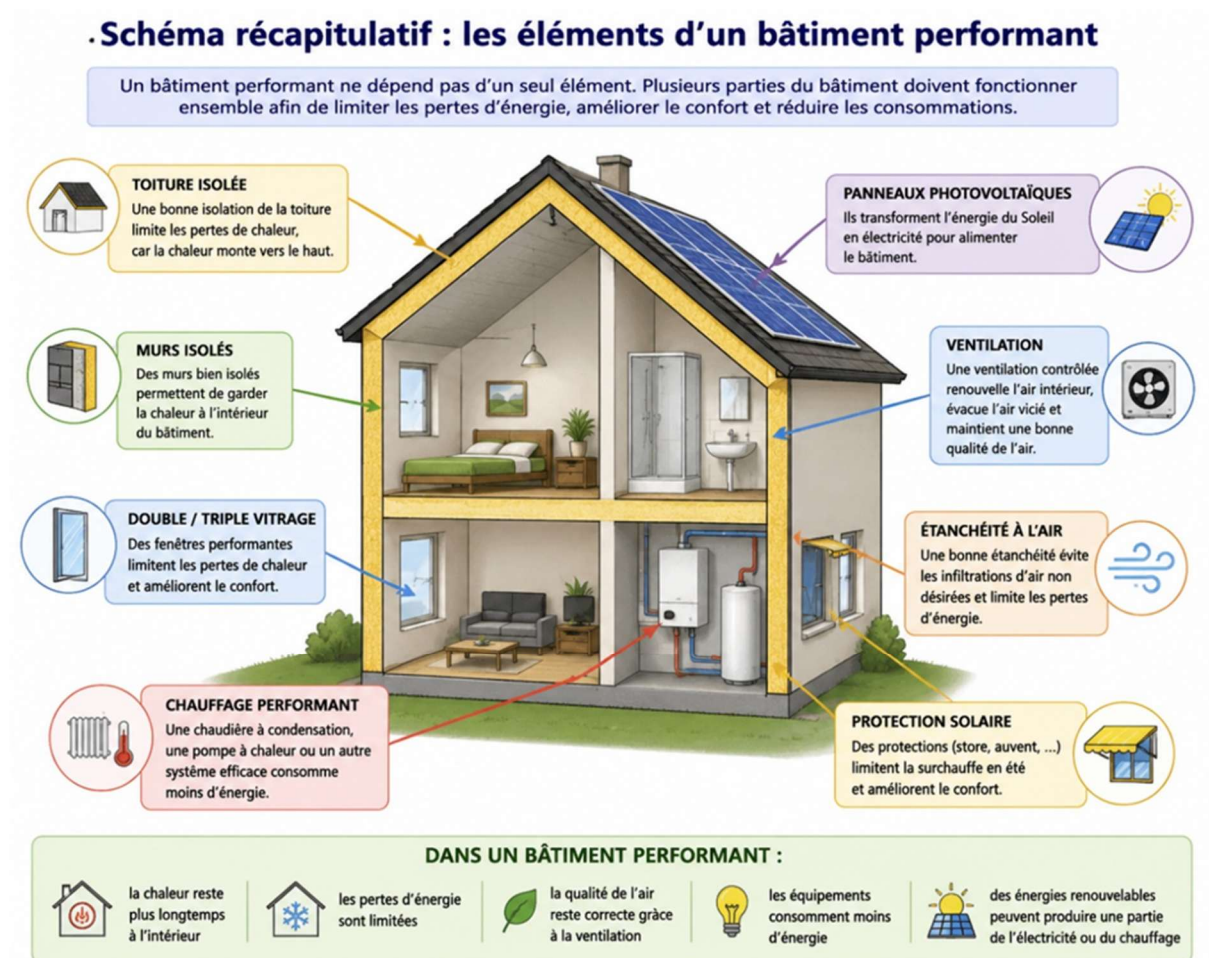


FIGURE 74 - SCHÉMA RÉCAPITULATIF (OPENAI, 2026)

c. Chapitre 3 : Comprendre un certificat PEB

Ce chapitre porte sur le certificat PEB, qui est actuellement le principal outil utilisé pour déterminer la performance énergétique des bâtiments en Wallonie. Les étudiants découvrent le rôle du certificat PEB, les informations qu'il contient et son utilité lors de la vente ou de la location d'un bâtiment. À travers l'analyse d'un certificat réel, ils apprennent à identifier les principaux indicateurs énergétiques et à se faire une idée de la manière dont ceux-ci sont calculés.

Une attention particulière est portée à l'échelle des classes énergétiques qui va de A à G. Tous les étudiants en viennent à interpréter ces classes et à les relier à des facteurs du bâtiment (isolation, qualité des fenêtres, systèmes de chauffage, ventilation, etc.). La consommation spécifique exprimée en kWh/m².an est également décrite afin de permettre des comparaisons objectives entre des bâtiments de tailles différentes.

Plusieurs aspects d'un certificat PEB sont ensuite discutés tout au long du chapitre. Un examen approfondi des murs, vitrages, systèmes de chauffage, production d'eau chaude sanitaire, ventilation et éventuelles énergies renouvelables est effectué pour déterminer leur impact sur la performance énergétique globale d'un bâtiment. Analyse des recommandations d'amélioration telles que décrites dans le certificat.

Les étudiants apprennent comment ces recommandations les guident dans le choix des travaux les plus pertinents pour réduire la consommation d'énergie et augmenter le confort des occupants. Enfin, le chapitre abordera les émissions de CO₂ liées à la consommation énergétique des bâtiments ainsi que les limites du certificat PEB, puisqu'il est basé sur des conditions standardisées et que la consommation réelle varie en fonction des habitudes des occupants.

d. Chapitre 4 : Réduire les consommations d'énergie dans un bâtiment

Le dernier chapitre aborde les solutions pour améliorer la performance énergétique des bâtiments et réduire la consommation d'énergie. Pour contrôler la consommation d'énergie, les étudiants apprennent d'abord l'importance des comportements quotidiens. La prise en compte de l'utilisation du chauffage, de l'éclairage, des appareils électriques et de la gestion de la ventilation illustre que ce sont les occupants qui économisent l'énergie dans son ensemble.

Ensuite, le cours commence par les principaux travaux de rénovation énergétique que l'on peut effectuer sur le bâtiment existant. Le toit, les murs et les sols sont isolés, les fenêtres remplacées, l'étanchéité améliorée, et les systèmes techniques mis à jour, et les principales implications de ceux-ci pour les besoins énergétiques du bâtiment sont abordées en détail.

Une section spécifique au secteur de l'énergie se concentre également sur les énergies renouvelables. Les étudiants apprennent comment fonctionnent les panneaux photovoltaïques, les panneaux solaires thermiques, les pompes à chaleur et certaines solutions issues de la biomasse. Cette section montre qu'il est important de considérer l'intégration de ces technologies après avoir réduit la demande énergétique des bâtiments grâce à une meilleure isolation et à une diminution des pertes de chaleur.

Le chapitre se termine par une application au contexte scolaire. Les spécificités énergétiques des écoles sont décrites en relation avec le chauffage, la ventilation, l'éclairage et la qualité de l'air intérieur. Une étude de cas à la fin offre aux étudiants un moyen d'utiliser leurs connaissances théoriques apprises en classe pour analyser, identifier et proposer des stratégies d'amélioration pertinentes pour un bâtiment.

LES BÂTIMENTS ET LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

La chaleur s'échappe d'un bâtiment par différentes zones.

Mieux comprendre ces pertes permet de réduire la consommation d'énergie et d'améliorer le confort.

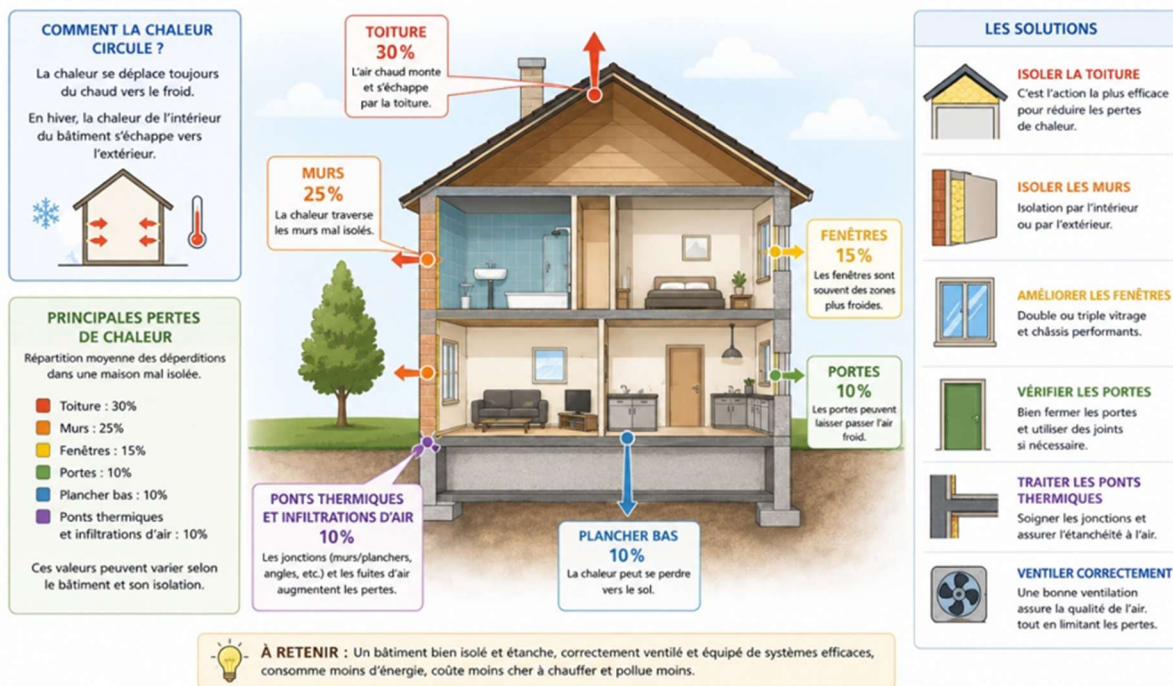


FIGURE 75 - LES BÂTIMENTS ET LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE (OPENAI, 2026)