

COZEB - Extension

DETERMINATION SYNTHETIQUE
DU PARC DE BATIMENTS DESTINES A L'ENSEIGNEMENT, DES
ETABLISSEMENTS HOTELIERS & DES ETABLISSEMENTS SPORTIFS

Rapport de la tâche 1 – juin 2014

*Pour le compte du
Département de l'Energie et du Bâtiment durable
SPW-DGO4*



Sommaire

PARTIE 1 – Introduction et objectifs

PARTIE 2 – Analyse du parc résidentiel existant

1. Analyse bibliographique tertiaire	5
1.1. Cartographie des émissions annuelles de CO ₂ dues aux consommations énergétiques des bâtiments tertiaires en Région wallonne [7]	5
1.2. Structuration du territoire pour répondre aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre [8]	6
1.3. Les chiffres clés de la Wallonie [9]	7
1.4. Bilan énergétique de la Wallonie 2008, secteur domestique et équivalent [10]	7
1.5. Enquête sur la Qualité de l'Habitat en Région wallonne 2006-2007 [11]	8
2. Les bâtiments destinés à l'enseignement étudiés	9
2.1. Les caractéristiques des bâtiments destinés à l'enseignement	9
2.1.1. Le vecteur énergétique	9
2.1.1. La date de construction	9
2.1.2. La taille des bâtiments	9
2.2. Choix des bâtiments destinés à l'enseignement	11
3. Description des bâtiments destinés à l'enseignement étudiés	13
3.1. Ecole maternelle/primaire d'avant 1945 d'une surface < 5000 m ²	13
3.2. Ecole maternelle primaire de 1950 d'une surface < 5000 m ²	1617
3.3. Ecole secondaire d'après 1970 d'une surface comprise entre 5000 m ² et 10000 m ²	2024
3.4. Bâtiment universitaire de 1968 d'une surface d'environ 10000 m ²	2324
4. Les établissements hôteliers choisis	2627
4.1. Les caractéristiques des bâtiments destinés à l'enseignement	2627
4.1.1. Le vecteur énergétique	2627
4.1.2. La date de construction	2627
4.1.3. La taille des bâtiments	2728
4.2. Choix des immeubles d'hôtel	2829
5. Les établissements sportifs choisis	3031
5.1. Les caractéristiques des bâtiments destinés à l'enseignement	3031
5.1.1. Le vecteur énergétique	3132
5.1.2. La taille des bâtiments	3132
5.2. Choix des établissements sportifs	3233

6. Mesures-groupes-variantes.....	3637
Annexe 1: Géométrie et caractéristiques générales de l'école maternelle de 1950 – E2	4042
Annexe 2: Géométrie et caractéristiques générales de secondaire > 1970 – E3.....	4345
Annexe 3: Géométrie et caractéristiques générales de l'école universitaire de 1968 – E4.....	4547
Annexe 4 : Hypothèses de simulation PEB et caractéristiques des systèmes des immeubles destinés à l'enseignement	4850
Nœuds constructifs	4850
Etanchéité à l'air	4850
Inertie	4951
Ombrage.....	4951
Protections solaires	4951
Ventilation	4951
Chauffage	4951
Eclairage	5153

PARTIE 1 : INTRODUCTION ET OBJECTIFS

La Directive 2012/27/UE du parlement européen et du conseil relative à l'efficacité énergétique a été adoptée. L'article 4 de cette directive demande aux Etats membres d'établir une stratégie à long terme pour mobiliser les investissements dans la rénovation du parc de bâtiments à usage résidentiel et commercial, tant public que privé. Il doit être fait état de cette stratégie dans les plans nationaux d'action d'efficacité énergétique, conformément à la partie 2 de l'annexe XIV de la Directive 2012/27/EU intitulée 'Cadre général des plans nationaux d'action en matière d'efficacité énergétique'.

La présente étude vise à compléter et à consolider le choix des bâtiments de référence de l'étude COZEB [14]. Ceci afin d'orienter la stratégie à long terme de mobilisation des investissements dans la rénovation du parc de bâtiments suivant les recommandations reprises dans le document de Guidance pour le Plan d'action national d'efficacité énergétique établi par la Commission européenne.

Dans la suite, le rapport décrit les hypothèses et la méthode utilisées pour définir les bâtiments tertiaires de référence pour les affectations suivantes:

- Bâtiments destinés à l'enseignement
- Etablissements hôteliers
- Etablissements sportifs

Pour les besoins de l'analyse, chaque bâtiment de référence doit être défini en termes de :

- zones dans lesquelles les activités standardisées prennent place (Conditions internes)
- zone climatique (conditions externes)
- géométrie de chaque zone (surface, volume)
- caractéristiques thermiques de chacun des éléments.
- caractéristiques de chaque système

L'objectif de la tâche est d'affiner et d'étayer les typologies des bâtiments destinés à l'enseignement utilisés pour le calcul du coût optimum dans l'étude principale COZEB et d'y ajouter des bâtiments hôteliers et sportifs de référence, représentatifs des bâtiments rencontrés en Wallonie.

PARTIE 3 : ANALYSE DU PARC DE BÂTIMENTS TERTIAIRES ET AUTRES EXISTANTS

1. Analyse bibliographique tertiaire

Nous mentionnons ici les documents qui ont également servi à l'étude présente, pour la sélection des bâtiments non résidentiels.

- « *Cartographie des émissions annuelles de CO₂ dues aux consommations énergétiques des bâtiments tertiaires en Région wallonne* », rapport de synthèse réalisé en 2013 par le LEMA (ULG – Sigrid Reiter et Mathieu Barbason).
- « *Structuration du territoire pour répondre aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre* », rapport final sur le thème 2B de la Conférence Permanente sur le Développement Territorial.
- « *Les chiffres clés de la Wallonie* », état annuel de la Wallonie (n°11 de décembre 2010) publié par l'Institut Wallon de l'Évaluation, de la Prospective et de la Statistique (IWEPS).
- « *Bilan énergétique de la Wallonie 2008, secteur domestique et équivalent* », réalisé en octobre 2010 par ICEDD asbl pour le compte du Service Public de Wallonie
- « *Enquête sur la Qualité de l'habitat en Région wallonne 2006-2007* », enquête réalisée par la Direction Générale de l'Aménagement du Territoire, du Logement et du Patrimoine en 2007.
- *Epicoool, Active koeling in EPB software*, chapitre R02 - Definitie en simulatie van referentieggebouwen. ULg & KUL.
- *Etude pour l'extension de la méthode de calcul de la Performance Énergétique des Bâtiments réalisée pour le compte de la Région Wallonne et de la DGTRE*, Architecture et Climat

Ces documents s'ajoutent à ceux du résidentiel, notamment pour la définition des caractéristiques d'enveloppe des bâtiments existants. De plus pour les typologies de bureaux et d'hôpitaux, une analyse bibliographique plus détaillée est reprise dans leur chapitre respectif.

1.1. Cartographie des émissions annuelles de CO₂ dues aux consommations énergétiques des bâtiments tertiaires en Région wallonne [7]

Il s'agit ici d'une cartographie des émissions annuelles de CO₂ dues aux consommations énergétiques des bâtiments tertiaires en Région wallonne, réalisée par Sigrid Reiter et Mathieu Barbason (LEMA – ULg) en 2013. Etablissant la performance du bâti tertiaire existant, cette étude établit des hypothèses crédibles sur ses caractéristiques.

Typologie	Surface vitrée %	Apports internes par personne $W/pers$	Apports internes des équipements W/m^2	Quantité ECS nécessaire $l/(pers.jour)$
Administration	25	125	23	4
Petits commerces	25	162,5	20	0
Supermarchés	25	162,5	20	0
Hypermarchés	25	162,5	20	0
Sports	5	200	-	60
Hôtels et restaurants	21	101,25	100	67,5
Enseignement	25	125	11	9,5
Soins de santé	25	101,25	20	85

TABLE 2.2 – Variables géométrique et énergétiques - Recknagel et al. [15] - Rietschel et Raiss [16] - Energie + [1]

Typologie	Valeur ICEDD $[kW.h/m^2]$	Valeur calculée $[kW.h/m^2]$	Différence relative
Administration	199	218	9,4 %
Petits commerces	1 426	1 287	-9,7 %
Supermarchés	601	706	17,5 %
Hypermarchés	316	346	9,6 %
Sports	235	196	-16,4 %
Hôtels et restaurants	556	586	5,4 %
Enseignement	161	153	-5 %
Soins de santé	305	260	-14,7 %
Piscine	4 470	4 470	0 %
Culture	261	261	0 %

TABLE 4.2 – Validation de la consommation spécifique moyenne par typologie fonctionnelle - ICEDD [9]

D'autres données issues de cette source ont été exploitées ici, elles sont reprises plus bas dans les chapitres relatifs à la sélection des bâtiments.

1.2. Structuration du territoire pour répondre aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre [8]

Cette étude, menée par la CPDT et pilotée par Jacques Teller (LEPUR, ULg), présente une recherche relative à l'impact de la structuration du territoire sur les émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2040. Certaines macro-données relatives à la structuration du territoire se révèlent importantes pour la caractérisation du parc, comme par exemple les statistiques sur la mitoyenneté du bâti résidentiel par classe d'âge.

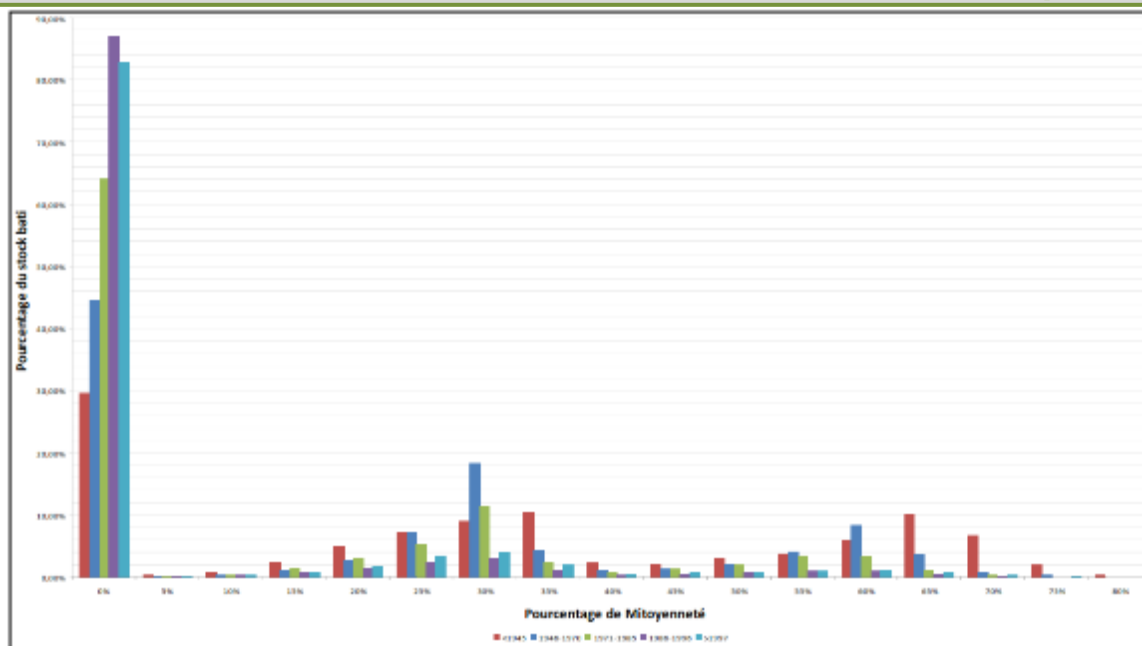


Figure 4. Mitoyenneté du bâti résidentiel wallon par classe d'âge : histogramme des fréquences.
Source : Cadmap 2009, SPF Economie - DGSIE.

1.3. Les chiffres clés de la Wallonie [9]

Le bilan annuel de l'état de la Wallonie, publié par l'IWEPS, contient quelques informations précieuses, notamment sur les différentes infrastructures sportives ou scolaires, permettant ainsi de définir le type de bâtiment à analyser dans COZEB.

	Très mauvais	Mauvais	Moyen	Bon	Très bon	Total
Centre urbain en bâti continu	8,9	8,1	38,5	29,6	14,8	100
Premières extensions urbaines en bâti semi-continu	4,3	4,4	33,1	37,2	21,0	100
Dernières extensions urbaines en bâti discontinu	4,1	5,4	25,7	34,4	30,5	100
Parc résidentiel en bâti discontinu	1,6	0,7	19,6	34,6	43,5	100
Voirie d'entrée dans les localités	6,2	6,6	36,0	30,6	20,7	100
Ensembles bâtis homogènes	7,6	8,2	33,5	34,9	15,7	100
Aire de village	4,7	5,7	32,8	31,9	24,8	100
Aire rurale	5,4	4,2	34,4	30,2	25,8	100
Aire d'activité économique	7,1	3,6	25,0	46,4	17,9	100
Total	5,8	5,9	33,0	32,7	22,6	100

D'autres données issues de cette source ont été exploitées ici, elles sont reprises plus bas dans les chapitres relatifs à la sélection des bâtiments.

1.4. Bilan énergétique de la Wallonie 2008, secteur domestique et équivalent [10]

Ce document présente le bilan de consommation d'énergie du secteur domestique et équivalents (secteurs agricole, résidentiel et tertiaire) en Wallonie pour l'année 2008, en tentant d'en expliquer les principales évolutions depuis 1990. Il recèle des informations importantes pour la caractérisation de typologies caractéristiques, dans les domaines résidentiel et tertiaire.

Branche d'activité	Nombre de réponses	ayant une climatisation	% équipé
Commerce de détail hors supermarchés	219	81	37%
Supermarchés et Hypermarchés	32	15	47%
Horeca	48	21	44%
Bureau privé	36	20	56%
Bureau public	155	39	25%
Enseignement	287	17	6%
Hôpitaux	55	41	75%
Homes	138	30	22%
Piscines	28	8	29%
Autres	458	115	25%
Total	1 456	387	27%

Tableau 67 - Nombre de répondants et taux de pénétration des climatisations en 2009

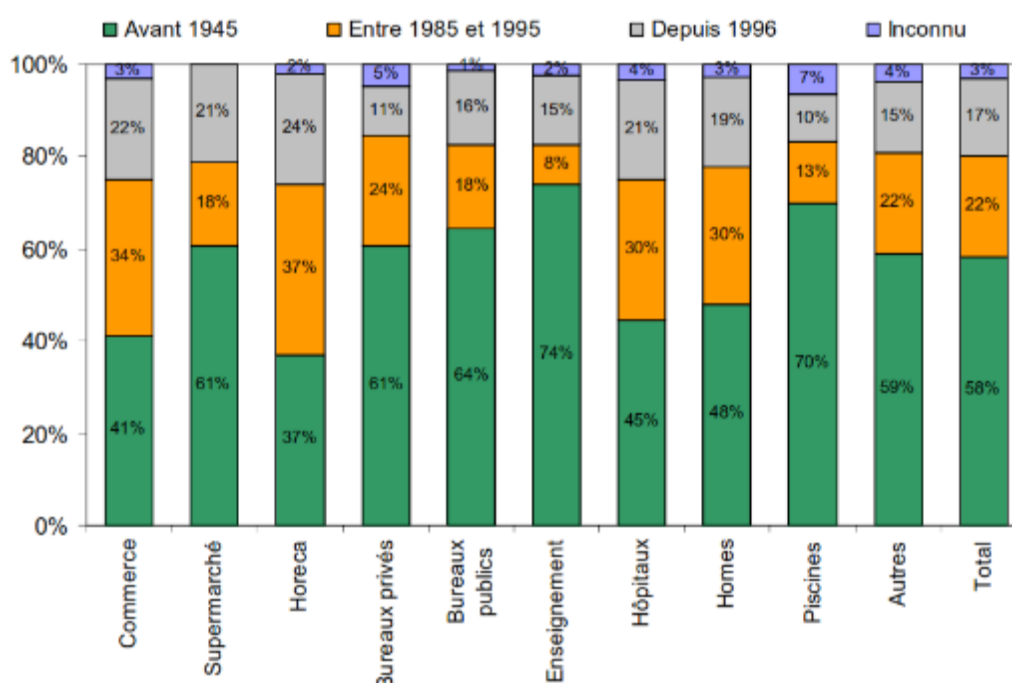


Figure 153 - Année de construction ou de grosse rénovation par branche d'activité

D'autres données issues de cette source ont été exploitées ici, elles sont reprises plus bas dans les chapitres relatifs à la sélection des bâtiments.

1.5. Enquête sur la Qualité de l'Habitat en Région wallonne 2006-2007 [11]

S'inscrivant dans la continuité des études menées par l'Institut National du Logement, cette enquête vise à analyser l'état du parc des logements en Wallonie pour obtenir une vue d'ensemble de sa situation. Réalisée sur 6000 logements choisis aléatoirement, elle pondère les résultats pour obtenir une représentation correspondante à celle de l'INS. Les informations s'y trouvant se rapportent exclusivement au secteur résidentiel wallon.

2. Les bâtiments destinés à l'enseignement étudiés

2.1. Les caractéristiques des bâtiments destinés à l'enseignement

Il existe relativement peu de statistiques sur le parc de bâtiments scolaires en Région wallonne. Nous pouvons toutefois marquer une première distinction sur base de la population estudiantine et du niveau d'enseignement qui y est délivré. Ainsi, une petite école primaire villageoise ne présentera pas la même typologie qu'un bâtiment accueillant plusieurs centaines d'étudiants de l'enseignement supérieur, qu'il soit universitaire ou non.

Malgré l'importance relative des crèches (35.800 enfants ont été accueillis en crèche en 2008), celles-ci ne seront pas répertoriées comme des bâtiments d'enseignement (notamment parce que ce genre de service, considéré dans la PEB comme « autre destination », se retrouve plus généralement dans des maisons aménagées).

2.1.1. Le vecteur énergétique

D'après le bilan énergétique 2008 de la Région wallonne (réalisé par l'ICEDD) [10], 26% de la consommation énergétique totale des écoles est couverte par l'électricité, 35% par le gaz naturel et 38% par des produits pétroliers.

Parmi cette consommation énergétique totale, environ 2% de la consommation d'électricité et 99% de la consommation des combustibles (gaz naturel et de produits pétroliers) servent au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire.

Type de bâtiment	Consommation d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire				
	Electricité	Gaz naturel	Produits pétroliers	Autres	Total
Bâtiments destinés à l'enseignement	0,7%	47.0%	50.9%	1,4%	100%

2.1.1. La date de construction

Comme pour les autres bâtiments, l'âge de la construction est une donnée importante. Toujours selon l'ICEDD, 74% des bâtiments destinés à l'enseignement en 2008 dataient d'avant 1945 (ou leur dernière « grosse » rénovation), 8% entre 1945 et 1995, et 15% après 1995.

Type de bâtiment	Année de construction ou de grosse rénovation				
	< 1945	1945 - 1995	> 1995	Autres	< 1945
Bâtiments destinés à l'enseignement	74.1%	8.4%	15.0%	2.5%	100%

2.1.2. La taille des bâtiments

Ce bilan indique quelques données exploitables quant à la taille des établissements :

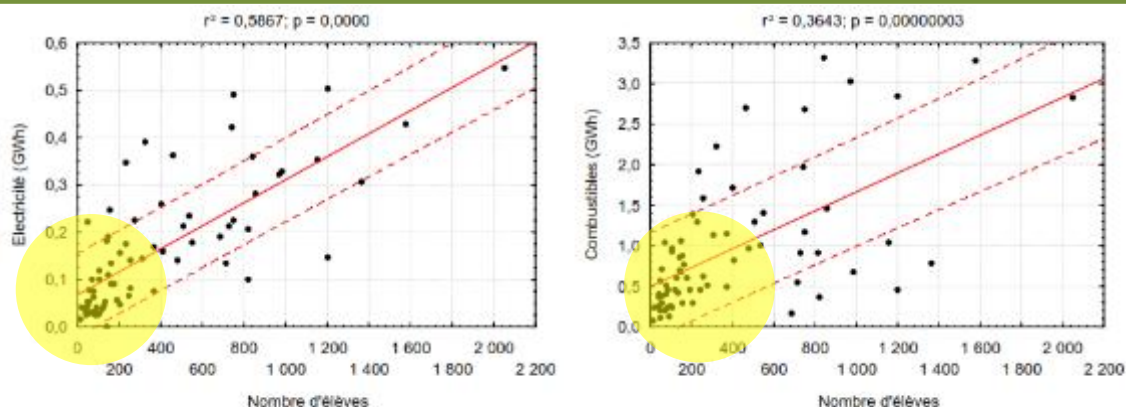


Figure 96 - Consommations d'électricité HT et de combustibles de l'enseignement des Communautés en 2008

Sur les 71 réponses croisant consommation et nombre d'élèves, voici ce qui peut être dit : 92% des écoles interrogées se trouvent sous la barre des 1000 élèves (65/71), 83% sous celle des 800 élèves (59/71), 75% sous celle des 600 élèves (53/71), 70% sous celle des 500 élèves (50/71), 48% sous la barre des 200 élèves (34/71). Il n'y a pas de répartitions entre écoles primaires, secondaires ou supérieures, mais il n'est pas déraisonnable de penser que ce sont les écoles maternelles et primaires villageoises qui rassemblent le moins d'élèves.

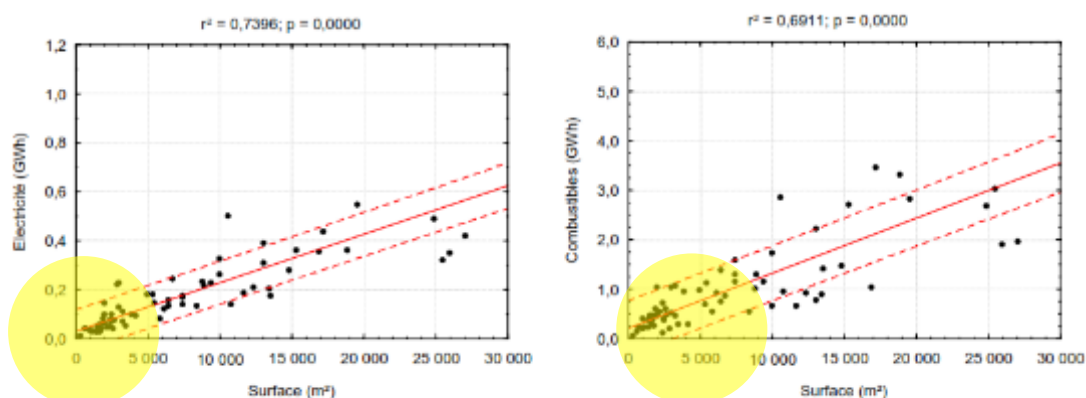


Figure 99 - Consommations d'électricité HT et de combustibles de l'enseignement des Communautés en 2008

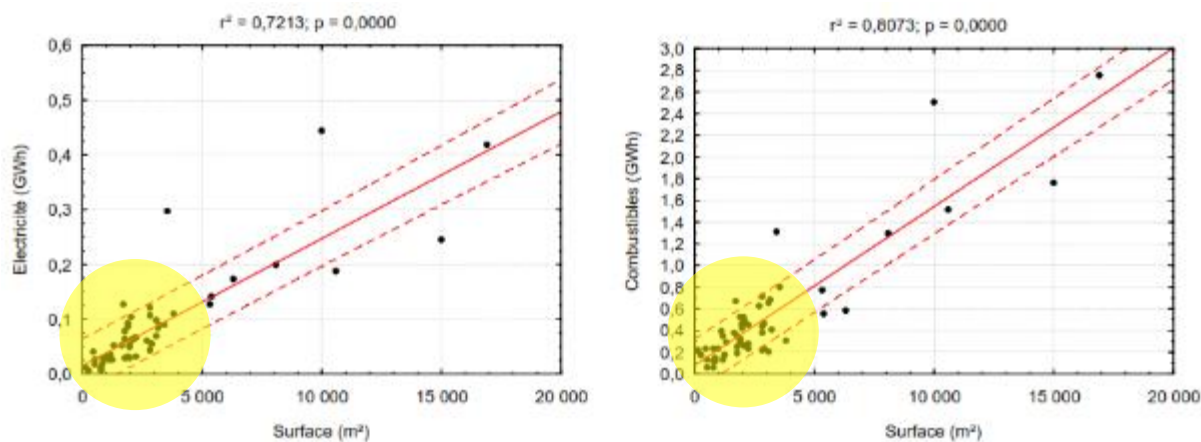


Figure 103 - Consommations d'électricité HT et de combustibles de l'enseignement provincial et communal en 2008

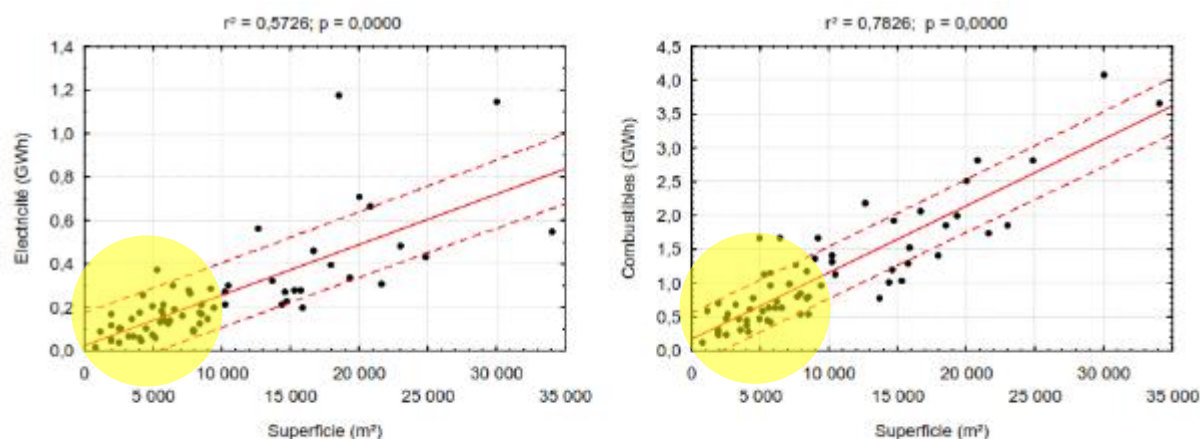


Figure 107 - Consommation d'électricité HT de l'enseignement libre et privé en 2008

En termes de surface, nous pouvons additionner les réponses des 3 réseaux interrogés (enseignement des communautés, enseignement provincial et communal, et enseignement libre et privé), pour obtenir les chiffres suivants :

- 94% des écoles (178/189) mesurent moins de 20.000 m² ;
- 87% des écoles (164/189) présentent une surface de moins de 15.000 m² ;
- 76% des écoles (143/189) mesurent moins de 10.000 m² ;
- 54% des écoles (102/189) mesurent moins de 5.000 m².

Type de bâtiment	Taille des bâtiments					Total
	< 5.000 m ²	5.000 - 10.000 m ²	10.000 - 15.000 m ²	15.000 - 20.000 m ²	> 20.000 m ²	
Bâtiments destinés à l'enseignement	54,0% [1] + [2]	21,7% [3]	11,1% [4]	7,4%	5,8%	100%

Bien sûr, une école de très grande taille (telle que les écoles supérieures et universitaires) se répartit entre plusieurs bâtiments, ce qui n'est pas décrit ici. Cela signifie généralement qu'elle possède des bâtiments plus anciens que d'autres, qui sont généralement en moins bon état.

Au vu de ces statistiques, il serait logique d'envisager deux bâtiments de moins de 5000 m² (probablement des écoles primaires et maternelles), une entre 5000 et 10000 m² (une école secondaire), et une de plus de 10000 m² (une école supérieure).

2.2. Choix des bâtiments destinés à l'enseignement

Il nous faut donc sélectionner :

- Deux écoles de « petite taille » (soit moins de 5000 m²), abritant préférentiellement un enseignement maternel et/ou primaire
 - a. L'une étant située dans un « petit » bâtiment plus ancien (d'avant 1945) dans un centre urbanisé (villageois ou urbain).
 - b. L'autre étant située dans un bâtiment plus récent (après 1945), construit dans la périphérie d'une ville ou d'un village (4 façade et plus grand que le premier)
- Une école d'enseignement secondaire ou supérieur (« haute école »), datant d'avant la première réglementation thermique de 1985, d'une taille plus importante (entre 5.000 et 10.000 m²). Elle sera probablement urbaine, logée dans un bâtiment relativement isolé (d'un point de vue géographique, pas thermique).

- Une école de grande taille (plus de 10.000 m²). Ce genre d'établissement se situe généralement en périphérie urbaine et possède plusieurs bâtiments, construits au fur et à mesure du développement de l'institution. Certains sont donc plus anciens que d'autres, mais la sélection se fera surtout sur le type de locaux abrités ; en effet, ayant déjà sélectionné 3 établissements logeant principalement des « petites » classes, il serait judicieux de représenter les bâtiments dans lesquels se trouvent des amphithéâtres, des classes de taille diverses et des bureaux.

3. Description des bâtiments destinés à l'enseignement étudiés

Remarque générale : Le Espec n'est pas un indicateur utilisé dans la PEB actuelle pour les bâtiments tertiaires. Pour une comparaison plus aisée, nous l'avons défini ici comme étant la consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire (kWh) divisée par 1.125 x la surface d'utilisation.

3.1. Ecole maternelle/primaire d'avant 1945 d'une surface < 5000 m²

Il s'agit d'une école probablement construite au début du XX^{ème} siècle et qui a été agrandie en 1994. L'école est composée de plusieurs bâtiments comme cela est souvent le cas dans ce type de structure scolaire. Les premiers bâtiments construits ne sont pas isolés tandis que l'extension est isolée. Ce bâtiment avait déjà été étudié dans le cadre de l'étude COZEB.



L'école est composée de trois bâtiments principaux reliés par des volumes secondaires à toiture plate. La façade avant, parallèle à la rue, est située au Nord-Ouest. Elle est illustrée par la figure de gauche ci-après de même que la vue de la façade arrière par la figure de droite.

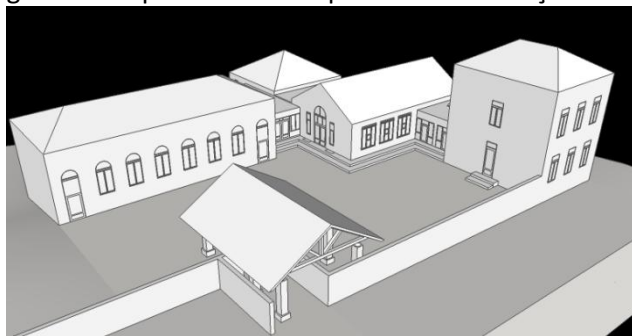


Figure 1 - Vue de la façade avant (NO)



Figure 2 - Vue de la façade arrière (SE)

Dans le but de garantir la compréhension des résultats, les bâtiments sont nommés comme l'indique le schéma suivant :

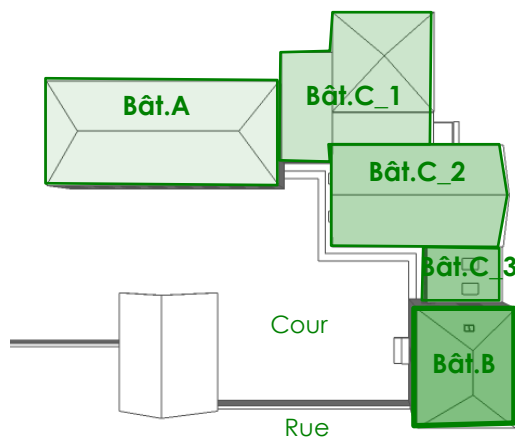


Figure 3 - Dénomination des bâtiments

Le bâtiment A (bâtiment ancien) comporte uniquement un niveau surplombé en partie par une mezzanine. Il abrite deux classes, une pour la 3^e et la 4^e année et une pour la 5^e et la 6^e. Des vestiaires, sanitaires ainsi qu'une chaufferie se trouvent de part et d'autres des classes.

Le bâtiment B (bâtiment ancien) est divisé en trois niveaux. Le sous-sol contient des caves et une chaufferie. Ce sont des espaces adjacents non chauffés (EANC). Le rez-de-chaussée comprend une cuisine, un réfectoire, un hall d'entrée et des sanitaires. L'étage est réservé aux enseignants : local, bureau d'administration, sanitaires et cage d'escalier.

Le sous-sol des bâtiments C (extensions) est divisé en deux zones : une zone contenant des espaces non chauffés (vide ventilé) et une autre zone contenant des espaces chauffés tels qu'une classe polyvalente, deux classes « philosophie » et des réserves ; l'ensemble relié par des couloirs. Le rez-de-chaussée compte les classes de maternelles, des sanitaires, des halls d'entrée donnant accès à chaque partie du bâtiment et une classe réservée aux élèves de 1^{ère} et de 2^e année. Seul le bâtiment C_2 comporte une mezzanine.

(E1)	Description	U [W/m².K]	Surface [m²]
Toit	Toiture plate en structure massive (béton) avec isolation en LM (6cm)	0,49	162,69
	Toiture inclinée en structure bois, non isolée	2	296,11
	Toiture inclinée en structure bois, avec isolation en LM (6cm)	0,66	165,34
	Plancher du grenier en structure massive (béton), avec isolation en LM (8cm)	0,14	67,40
Mur	Murs pleins en briques, épaisseur 35 cm	1,92	597,77
	Murs creux avec blocs de béton (19cm), isolation en LM (4cm) creux peu ventilé et parement en briques	0,77	433,04
Sol	Dalle sur sol en structure massive (béton) avec isolation en LM (4 cm)	0,44	297,65
	Plancher sur caves en structure massive (briques), non isolé	0,82	226,63
Fenêtre	Simple vitrage, châssis bois - façade SE	Uw= 5,38	33,60
	- façade NO	Ug= 5,50	34,20
	- façade NE	g= 0,85	2,43
		Uf= 4,00	
	Double vitrage, châssis bois - façade SO	Uw= 3,13	19,37
	- façade latérale SE	Ug= 2,5	77,90
	- façade latérale NE	g= 0,70	9,67
	- façade arrière NO	Uf= 2,36	17,67
	Velux	Uw = 2,88	2,90
Système de chauffage	Chauffage central au mazout, chaudière non à condensation, rendement = 75%		
Production d'ECS	-		

Ventilation	Pas de système de ventilation		
Etanchéité	15 m ³ /h.m ²		

Figure 4 : Tableau descriptif du bâtiment destiné à l'enseignement E1

Les résultats énergétiques correspondant au bâtiment destiné à l'enseignement dans son état actuel sont repris dans le tableau ci-dessous :

(1) Données / résultats	
SUT	1001,56
Volume	3.551,91
Niveau K	118
Niveau Ew	218

Figure 5 : Tableau des résultats énergétiques du bâtiment destiné à l'enseignement E1

L'isolation des parois opaques des bâtiments s'effectuera :

- soit par l'intérieur (pour les bâtiments anciens – bât. A+B) : il s'agit d'une isolation en laine minérale placée dans une ossature en bois et recouverte d'un freine-vapeur ainsi que d'une finition en plaques de plâtre. ;
- soit par l'extérieur (pour l'extension – bât. C) : Construites des années plus tard, les extensions sont déjà isolées contrairement aux parties existantes. Toutefois, des mesures doivent être prises afin de répondre aux exigences minimales en termes de performance énergétique des bâtiments. Il s'agit donc d'une isolation en polystyrène (EPS), collée sur les murs existants et recouverte par des briquettes collées. Cette technique est coûteuse, mais permet de maintenir un aspect extérieur proche de l'aspect extérieur existant, tout en évitant une isolation par l'intérieur. .

Les parties A et B du bâtiment présentent des caves ; le plancher du niveau 0 sera donc isolé par l'extérieur (placement d'un isolant en polyuréthane (PUR) côté cave).

Par contre, pour la partie C, le plancher du niveau 0 étant en contact avec le sol, l'ajout d'isolation sera envisagé sur sol (par l'intérieur). – Le revêtement de sol et la chape existants seront donc démontés et remplacés par un isolant en polyuréthane (PUR), une nouvelle chape et un nouveau revêtement de sol.

L'isolation de la toiture en pente des parties A et B est réalisée par l'intérieur entre la structure en bois. Il s'agit d'une isolation en laine minérale placée dans l'épaisseur de la structure porteuse en bois. Quand l'épaisseur de la structure n'est pas suffisamment épaisse, le placement d'une structure en bois supplémentaire est prévu afin de permettre le placement des épaisseurs d'isolant élevées. Du côté intérieur, on prévoit le placement d'un freine-vapeur ainsi que d'une finition en plaques de plâtre. Du côté extérieur, on suppose qu'une membrane de sous-toiture est pré-existante.

L'isolation de la toiture en pente du bâtiment C est réalisée par l'intérieur entre la structure en bois. Il s'agit d'une isolation en laine minérale placée dans l'épaisseur de la structure porteuse en bois. Une isolation en laine minérale de 6 cm était déjà présente dans cette toiture et sera conservée. Quand

l'épaisseur de la structure n'est pas suffisamment épaisse, le placement d'une structure en bois supplémentaire est prévu afin de permettre le placement des épaisseurs d'isolant élevées. Du côté intérieur, on prévoit le placement d'un freine-vapeur ainsi que d'une finition en plaques de plâtre. Du côté extérieur, on suppose qu'une membrane de sous-toiture est pré-existante.

Pour l'isolation de la toiture plate du bâtiment C, on envisage une isolation par l'extérieur (toiture chaude). Il s'agit d'un isolant en polyuréthane (PUR) placé sur la membrane d'étanchéité existante de la toiture plate et ensuite recouvert par une nouvelle membrane d'étanchéité.

Le tableau ci-dessous reprend les mesures/groupes/variantes de rénovation énergétique qui vont être étudiés.

Groupes de mesures / variantes					
Enveloppe					
Cas	Parois transparentes	Toitures	Parois opaques (murs)	Sols	Etanchéité (v50)
base	-	-	-	-	15,0
1	V 2012	-	-	-	15,0
2	V 2014	-	-	-	15,0
3	V 3	-	-	-	15,0
4	F 2012	-	-	-	10,0
5	F 2014	-	-	-	10,0
6	F 3	-	-	-	10,0
7	-	Utoit 2012	-	-	12,0
8	-	Utoit 2014	-	-	12,0
9	-	Utoit 3	-	-	12,0
10	V 2012	Utoit 2012	-	-	12,0
11	V 2014	Utoit 2012	-	-	12,0
12	V 3	Utoit 2012	-	-	12,0
13	F 2012	Utoit 2012	-	-	8,0
14	F 2012	Utoit 2012	U mur 2012	-	5,0
15	F 2012	Utoit 2012	U mur 2012	U sol 2012	4,5
16	F 2014	U toit 2014	-	-	8,0
17	F 2014	U toit 2014	U mur 2012	-	5,0
18	F 2014	U toit 2014	U mur 2014	-	5,0
19	F 2014	U toit 2014	U mur 2014	U sol 2014	4,5
20	F 3	U toit 3	-	-	8,0
21	F 3	U toit 3	U mur 3	-	5,0
22	F 3	U toit 3	U mur 3	U sol 3	4,5
23	F passif	U toit passif	U mur passif	U sol passif	2,5

Figure 6 : Tableau des mesures/groupes/variantes du bâtiment destiné à l'enseignement E1

3.2. Ecole maternelle primaire de 1950 d'une surface < 5000 m²

Il s'agit d'une école Maternelle/primaire construite en 1950.

L'école est constituée d'un bâtiment principal dont la façade avant est orientée plein sud et d'un bâtiment secondaire, accolé perpendiculairement à la façade arrière du bâtiment principal.

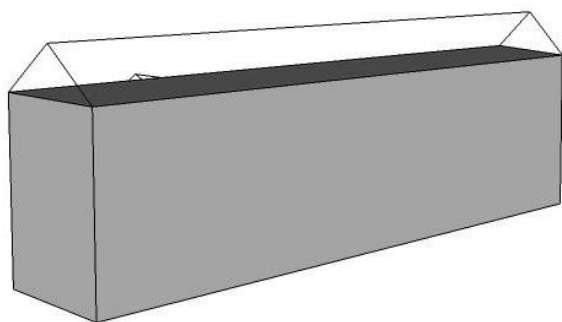


Le bâtiment principal comporte 3 niveaux. Chaque étage est organisé de la même manière :

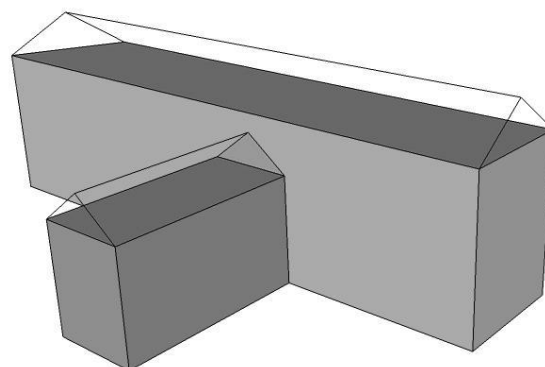
- façade avant (S) : 4 classes de cours ;
- façade arrière (N) : un couloir ;
- façade latérale (O) : une cage d'escaliers ;
- façade latérale (E) : une cage d'escaliers, un hall d'entrée au rez-de-chaussée et des sanitaires et un local pour surveillant aux étages.

Le bâtiment secondaire comporte 2 niveaux. On y retrouve :

- au rez-de-chaussée, la salle des professeurs, la bibliothèque, un local de matériel didactique et des sanitaires ;
- au 1^{er} étage, une très grande classe (de musique) et des sanitaires.



Vue de la façade avant (S)



Vue de la façade arrière (N)

Les deux volumes disposent d'une toiture à deux versants et de combles non aménagés.

L'entièreté du bâtiment se situe sur un vide-ventilé.

Les plans se trouvent en Annexe 1.

(E2)	Description	U [W/m².K]	Surface [m²]
------	-------------	---------------	-----------------

Toit	Plancher du grenier en structure massive, non isolé	1,02	532,12
Mur	Murs creux avec blocs de béton (19cm), creux peu ventilé et parement en briques	1,98	990,45
	Murs creux avec blocs de béton (19cm), creux peu ventilé et parement en panneaux de façade rouges	1,84	174,20
	Colonnes en béton armé	2,70	54,38
	Murs creux avec blocs de béton (19cm), creux peu ventilé et parement en briques vers EANC	1,69	8,53
Sol	Dalle sur vide ventilé en structure massive (béton)	1,11	532,12
Fenêtre	Simple vitrage, châssis bois - façade avant (S)	Uw= 5,07	232,44
	- façade latérale (O)	Ug= 5,75	29,02
	- façade arrière (N)	g= 0,85	88,71
	- façade latérale (E)	Uf= 2,36	48,93
Système de chauffage	Chauffage central au mazout, chaudière non à condensation, rendement = 85%		
Production d'ECS	-		
Ventilation	Pas de système de ventilation		
Etanchéité	15 m ³ /h.m ²		

Figure 7 : Tableau descriptif du bâtiment destiné à l'enseignement E2

Les résultats énergétiques correspondant au bâtiment destiné à l'enseignement dans son état actuel sont repris dans le tableau ci-dessous :

(1) Données / résultats	
SUT	1773
Volume	6.187,74
Niveau K	145
Niveau Ew	262

Figure 8 : Tableau des résultats énergétiques du bâtiment destiné à l'enseignement E2

Pour l'isolation des murs creux avec briques de parement, nous envisageons l'isolation par l'extérieur avec briquettes (en enlevant préalablement les briques de parement). Il s'agit donc d'une isolation en polystyrène (EPS), collée sur les murs existants et recouverte par des briquettes collées. Cette technique est coûteuse, mais permet de maintenir un aspect extérieur proche de l'aspect extérieur existant, tout en évitant une isolation par l'intérieur.

Pour l'isolation des murs creux avec panneaux de façade ainsi que pour les colonnes en béton, nous envisageons l'isolation par l'extérieur avec crépi (en enlevant préalablement les panneaux de façade). Il s'agit donc d'une isolation en polystyrène (EPS), collée sur les murs existants et recouverte d'un crépi.

Les murs en contact avec un EANC seront isolés par l'extérieur (isolant en polystyrène (EPS) collé côté combles et recouvert d'un enduit).

Le plancher sera isolé par l'extérieur, la dalle étant située sur un vide ventilé (placement d'un isolant en polyuréthane (PUR) côté vide ventilé).

Pour le plancher des combles, il s'agit d'une isolation en laine minérale placée sur la chape existante sans finition supérieure.

Le tableau ci-dessous reprend les mesures/groupes/variantes de rénovation énergétique qui vont être étudiés.

Groupes de mesures / variantes					
Enveloppe					
Cas	Parois transparentes	Toitures	Parois opaques (murs)	Sols	Etanchéité (v50)
base	-	-	-	-	15,0
1	V 2012	-	-	-	15,0
2	V 2014	-	-	-	15,0
3	V 3	-	-	-	15,0
4	F 2012	-	-	-	10,0
5	F 2014	-	-	-	10,0
6	F 3	-	-	-	10,0
7	-	Utoit 2012	-	-	12,0
8	-	Utoit 2014	-	-	12,0
9	-	Utoit 3	-	-	12,0
10	V 2012	Utoit 2012	-	-	12,0
11	V 2014	Utoit 2012	-	-	12,0
12	V 3	Utoit 2012	-	-	12,0
13	F 2012	Utoit 2012	-	-	8,0
14	F 2012	Utoit 2012	U mur 2012	-	5,0
15	F 2012	Utoit 2012	U mur 2012	U sol 2012	4,5
16	F 2014	U toit 2014	-	-	8,0
17	F 2014	U toit 2014	U mur 2012	-	5,0
18	F 2014	U toit 2014	U mur 2014	-	5,0
19	F 2014	U toit 2014	U mur 2014	U sol 2014	4,5
20	F 3	U toit 3	-	-	8,0
21	F 3	U toit 3	U mur 3	-	5,0
22	F 3	U toit 3	U mur 3	U sol 3	4,5
23	F passif	U toit passif	U mur passif	U sol passif	2,5

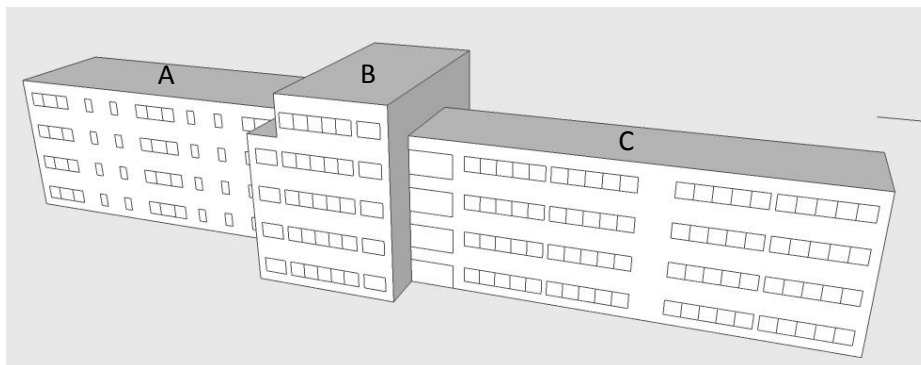
Figure 9 : Tableau des mesures/groupes/variantes du bâtiment destiné à l'enseignement E2

3.3. Ecole secondaire d'après 1970 d'une surface comprise entre 5000 m² et 10000 m²

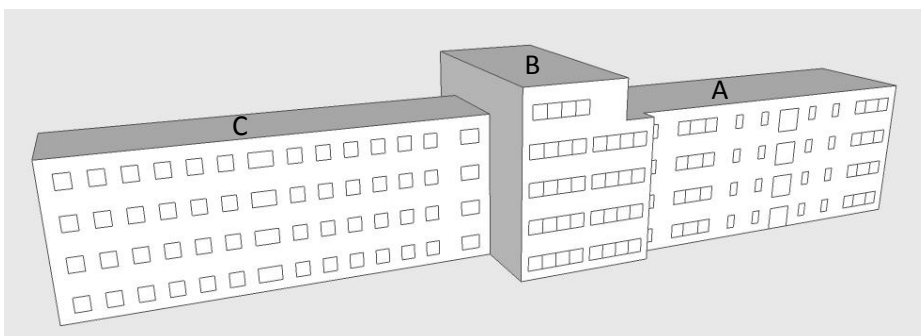
Il s'agit d'une école type « Athénée », comportant un bloc central et deux ailes latérales.

La volumétrie de cette école est basée sur une école de l'étude Epicool, qui a également servi pour l'étude COZEB, et que nous avons agrandie afin qu'elle corresponde à la typologie recherchée.

La façade principale est orientée SE et la façade arrière est orientée NO. Le bâtiment ne possède aucune mitoyenneté.



Vue de la façade avant (SE)



Vue de la façade arrière (NO)

- Bloc A :
 - 4 niveaux
 - Classes de cours sur les deux fronts, séparées par un couloir central
 - Cage d'escalier situé en façade arrière (NO)
- Bloc B :
 - 5 niveaux
 - Classes de cours en façade avant (SE)
 - Espace sanitaire et locaux techniques en façade arrière (NO)
 - Couloir central
- Bloc C
 - 4 niveaux
 - Classes de cours en façade avant (SE)
 - Couloir en façade arrière (NO)
 - Cage d'escalier situé en façade avant (SE), accolée au bloc B

Les plans se trouvent en Annexe 2.

(E3)	Description	U [W/m².K]	Surface [m²]
Toit	Toiture plate en structure massive (béton)	1,03	1195,39
Mur	Murs creux en blocs de terre cuite, creux peu ventilé et parement en briques, épaisseur 26 cm	1,64	3094,13
Sol	Dalle sur sol en structure massive (béton)	0,64	1195,39
Fenêtre	Simple vitrage, châssis bois - façade avant (SE)	Uw=5,38	433,50
	- façade latérale (SO)	Ug= 5,5	23,00
	- façade latérale (NE)	g= 0,85	20,00
	- façade arrière (NO)	Uf= 4	323,98
Système de chauffage	Chauffage central au gaz, chaudière non à condensation, rendement = 82%		
Production d'ECS	-		
Ventilation	Pas de système de ventilation		
Etanchéité	15 m³/h.m²		

Figure 10 : Tableau descriptif du bâtiment destiné à l'enseignement E3

Les résultats énergétiques correspondant au bâtiment destiné à l'enseignement dans son état actuel sont repris dans le tableau ci-dessous :

(1) Données / résultats	
SUT	5043,72
Volume	19.775,37
Niveau K	106
Niveau Ew	199

Figure 11 : Tableau des résultats énergétiques du bâtiment destiné à l'enseignement E3

En ce qui concerne l'isolation des parois opaques (murs creux non isolés), elle sera envisagée par l'intérieur, l'isolation du creux n'étant pas suffisant pour atteindre les niveaux d'isolation souhaités. Il s'agit donc d'une isolation en laine minérale placée dans une ossature en bois et recouverte d'un freine-vapeur ainsi que d'une finition en plaques de plâtre.

Le sol n'est pas en contact avec un vide ventilé ou une cave ; il sera donc isolé par l'intérieur (sur la dalle. Le revêtement de sol et la chape existants seront donc démontés et remplacés par un isolant en polyuréthane (PUR), une nouvelle chape et un nouveau revêtement de sol.

La toiture plate existante est composée d'une structure en béton ; elle est donc isolée par l'extérieur pour créer une toiture chaude. Il s'agit d'un isolant en polyuréthane (PUR) placé sur la membrane d'étanchéité existante de la toiture plate et ensuite recouvert par une nouvelle membrane d'étanchéité.

Le tableau ci-dessous reprend les mesures/groupes/variantes de rénovation énergétique qui vont

être étudiés.

Groupes de mesures / variantes					
Enveloppe					
Cas	Parois transparentes	Toitures	Parois opaques (murs)	Sols	Etanchéité (v50)
base	-	-	-	-	14,0
1	V 2012	-	-	-	14,0
2	V 2014	-	-	-	14,0
3	V 3	-	-	-	15,0
4	F 2012	-	-	-	9,5
5	F 2014	-	-	-	9,5
6	F 3	-	-	-	9,5
7	-	Utoit 2012	-	-	11,5
8	-	Utoit 2014	-	-	11,5
9	-	Utoit 3	-	-	11,5
10	V 2012	Utoit 2012	-	-	11,5
11	V 2014	Utoit 2012	-	-	11,5
12	V 3	Utoit 2012	-	-	11,5
13	F 2012	Utoit 2012	-	-	7,5
14	F 2012	Utoit 2012	U mur 2012	-	5,0
15	F 2012	Utoit 2012	U mur 2012	U sol 2012	4,5
16	F 2014	U toit 2014	-	-	7,5
17	F 2014	U toit 2014	U mur 2012	-	5,0
18	F 2014	U toit 2014	U mur 2014	-	5,0
19	F 2014	U toit 2014	U mur 2014	U sol 2014	4,5
20	F 3	U toit 3	-	-	7,5
21	F 3	U toit 3	U mur 3	-	5,0
22	F 3	U toit 3	U mur 3	U sol 3	4,5
23	F passif	U toit passif	U mur passif	U sol passif	2,5

Figure 12 : Tableau des mesures/groupes/variantes du bâtiment destiné à l'enseignement E3

3.4. Bâtiment universitaire de 1968 d'une surface d'environ 10000 m²

L'Institut de Botanique est situé dans la zone sud du campus universitaire du Sart Tilman à Liège. Le bâtiment date de 1968 et présente un aspect monolithique et austère, fidèle à la pensée architecturale de l'époque, tout en veillant à son intégration dans le site par une hauteur limitée et de nombreuses baies vitrées.



Au rez-de-chaussée de ce bâtiment se situent un auditoire de 80 places, une bibliothèque, des salles de cours, des herbiers, un bureau, une salle de réunion ainsi que des vestiaires. On y trouve également un vide donnant sur le niveau -1.

Aux niveaux -2, -1, +1, +2 et +3 se situent des bureaux, des laboratoires, des salles de réunion, des archives, un réfectoire ainsi que des chambres froides/chaudes.

Au niveau +4 se situent uniquement les locaux techniquement et la machinerie de l'ascenseur.

Les plans se trouvent en Annexe 3.

(E4)	Description	U [W/m ² .K]	Surface [m ²]
Toit	Toiture plate en structure massive (béton)	2,29	3293,00
Mur	Murs extérieurs - mur massif en béton armé de 30 cm d'épaisseur	2,9	2702,00
	Murs enterrés - mur plein en béton armé de 30 cm d'épaisseur	0,96	409,00
Sol	Dalle sur sol en structure massive (béton)	0,72	3293,00
Fenêtre	Double vitrage, châssis bois - façade N	Uw=3,13	634,00
	- façade O	Ug=3,1	104,00
	- façade S	g=0,75	526,00
	- façade E	Uf=2,36	153,00
Système de chauffage	Chauffage central - cogénération bois de 7000 kW et chaudière gaz non à condensation, rendement = 95%, système partagé avec d'autres bâtiments du site		

Production d'ECS	-		
Ventilation	Alimentation + évacuations mécaniques, sans régulation - fonctionnement continu, sans récupérateur de chaleur, sans recyclage d'air		
Etanchéité	15 m³/h.m²		

Figure 13 : Tableau descriptif du bâtiment destiné à l'enseignement E4

Les résultats énergétiques correspondant au bâtiment destiné à l'enseignement dans son état actuel sont repris dans le tableau ci-dessous :

(1) Données / résultats	
SUT	9945
Volume	41.800,00
Niveau K	113
Niveau Ew	220

Figure 14 : Tableau des résultats énergétiques du bâtiment destiné à l'enseignement E4

Pour l'isolation des murs extérieurs (murs pleins en béton), nous envisageons une isolation des façades par l'extérieur. Il s'agit donc d'une isolation en polystyrène (EPS), collée sur les murs existants et recouverte d'un crépi.

Pour les murs enterrés, nous envisageons une isolation des façades par l'intérieur. Il s'agit donc d'une isolation en laine minérale placée dans une ossature en bois et recouverte d'un freine-vapeur ainsi que d'une finition en plaques de plâtre.

Le sol n'est pas en contact avec un vide ventilé ou une cave ; il sera donc isolé par l'intérieur (sur la dalle). Le revêtement de sol et la chape existants seront donc démontés et remplacés par un isolant en polyuréthane (PUR), une nouvelle chape et un nouveau revêtement de sol.

Pour la toiture plate, on envisage une nouvelle isolation par l'extérieur (toiture chaude).

Il s'agit d'un isolant en polyuréthane (PUR) placé sur la membrane d'étanchéité existante de la toiture plate et ensuite recouvert par une nouvelle membrane d'étanchéité.

Le tableau ci-dessous reprend les mesures/groupes/variantes de rénovation énergétique qui vont être étudiés.

Groupes de mesures / variantes					
Enveloppe					
Cas	Parois transparentes	Toitures	Parois opaques (murs)	Sols	Etanchéité (v50)
base	-	-	-	-	15,0
1	V 2012	-	-	-	15,0
2	V 2014	-	-	-	15,0
3	V 3	-	-	-	15,0
4	F 2012	-	-	-	10,0

5	F 2014	-	-	-	10,0
6	F 3	-	-	-	10,0
7	-	Utoit 2012	-	-	12,0
8	-	Utoit 2014	-	-	12,0
9	-	Utoit 3	-	-	12,0
10	V 2012	Utoit 2012	-	-	12,0
11	V 2014	Utoit 2012	-	-	12,0
12	V 3	Utoit 2012	-	-	12,0
13	F 2012	Utoit 2012	-	-	8,0
14	F 2012	Utoit 2012	U mur 2012	-	5,0
15	F 2012	Utoit 2012	U mur 2012	U sol 2012	4,5
16	F 2014	U toit 2014	-	-	8,0
17	F 2014	U toit 2014	U mur 2012	-	5,0
18	F 2014	U toit 2014	U mur 2014	-	5,0
19	F 2014	U toit 2014	U mur 2014	U sol 2014	4,5
20	F 3	U toit 3	-	-	8,0
21	F 3	U toit 3	U mur 3	-	5,0
22	F 3	U toit 3	U mur 3	U sol 3	4,5
23	F passif	U toit passif	U mur passif	U sol passif	2,5

Figure 15 : Tableau des mesures/groupes/variantes du bâtiment destiné à l'enseignement E4

4. Les établissements hôteliers choisis

4.1. Les caractéristiques des bâtiments destinés à l'enseignement

Le secteur hôtelier se compose d'établissements très différents, tant du point de vue de la taille que des services qu'ils proposent. L'offre s'étale, depuis les petites entreprises familiales sans succursales et offrant des possibilités d'hébergement, jusqu'aux grands hôtels (qui font souvent partie d'une chaîne multinationale) offrant une gamme plus ou moins étendue de services supplémentaires (tels que la restauration, l'organisation de banquets, les bars, une infrastructure de remise en forme et de détente...).

En raison de leur faible représentation sur le territoire, ou de leur assimilation possible à une typologie résidentielle (appartements ou maisons), les appart-hôtels, gîtes et maisons d'hôte peuvent être sortis de la sélection potentielle pour cette étude.

La plupart des établissements n'offrant qu'un service de restauration (sans chambres à louer, qu'ils se situent en zone urbaine ou en dehors) sont logés dans des bâtiments de typologie « résidentielle », des maisons transformées pour accueillir cette autre destination. Puisque le nombre de bâtiments « HORECA » à choisir dans cette étude doit se limiter à 2, nous les sortirons donc de la sélection pour ne conserver que les établissements offrant les eux types de services à la fois.

4.1.1. Le vecteur énergétique

Nous ne disposons pas d'informations précises sur les vecteurs énergétiques utilisés pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire des hôtels.

D'après le bilan énergétique 2008 de la Région wallonne (réalisé par l'ICEDD) [10], 21% de la consommation énergétique totale des bâtiments nommés « autres services » est couverte par l'électricité, 48% par le gaz naturel et 31% par des produits pétroliers.

Parmi cette consommation énergétique totale, environ 4% de la consommation d'électricité et 96% de la consommation des combustibles (gaz naturel et de produits pétroliers) servent au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire.

Type de bâtiment	Consommation d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire				
	Electricité	Gaz naturel	Produits pétroliers	Autres	Total
Bâtiments « autres services »	1,0%	60,1%	38,9%	0%	100%

A contrario des établissements scolaires, les systèmes de climatisation sont plus courants dans les hôtels. Ainsi, l'ICEDD estime à 44% la part des établissements équipés.

4.1.2. La date de construction

Comme pour les autres bâtiments, l'âge de la construction est une donnée importante. Toujours selon l'ICEDD, 37% des bâtiments « HORECA » ont été construits ou (fortement) rénovés avant 1945, 37% entre 1945 et 1995, et 24% après 1995.

L'on voit ici la nécessité plus marquée des établissements HORECA à maintenir un état et une qualité de leur bâtiment pour la satisfaction de la clientèle.

Type de bâtiment	Année de construction ou de grosse rénovation				
	< 1945	1945 - 1995	> 1995	Autres	< 1945
Bâtiments « HORECA »	37,0%	37,0%	24,0%	2,0%	100%

L'UCM a récemment réalisée une enquête auprès des établissements hôteliers, et il en ressortent les résultats suivants concernant l'ancienneté des bâtiments et la date de rénovation :

Année de référence	Année de construction ou de grosse rénovation				
	< 1945	1945 - 1995	> 1995	Autres	< 1945
Construction de l'établissement hôtelier	50,0%	37,5%	12,5%	0,0%	100%
Rénovation de l'établissement hôtelier	0,0%	33,3%	66,7%	0,0%	100%

4.1.3. La taille des bâtiments

Dans le même document, l'ICEDD classe les 16 établissements hôteliers qui ont répondu à l'enquête selon les graphes suivants :

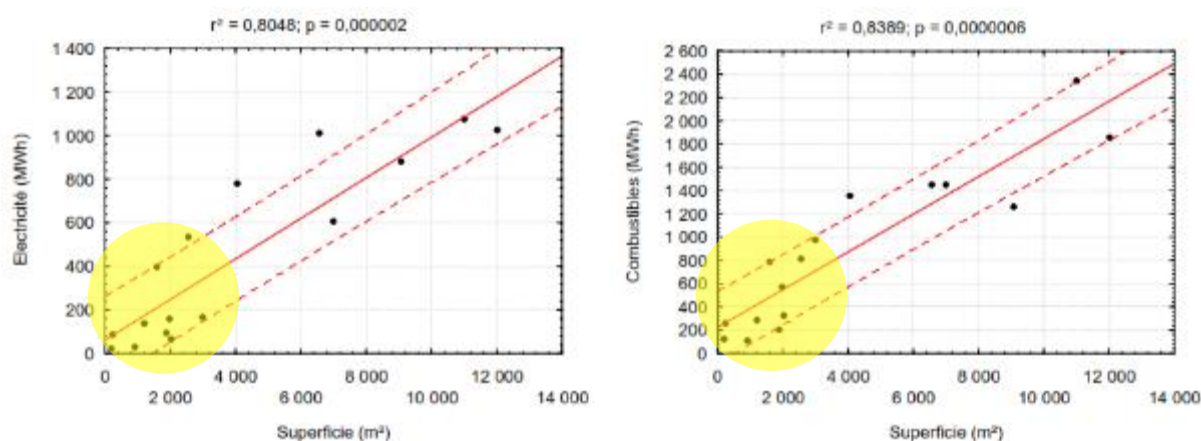


Figure 75 - Consommations d'électricité et de combustibles des hôtels HT en 2008

On peut en déduire que 50% des hôtels se situent sous le seuil des 2000 m², 62,5% sous le seuil des 3000 m².

Le site des statistiques belge¹ indique un nombre de nuitées plus importantes dans les zones urbaines (de l'ordre de 15.000.000 en 2012, contre 8.000.000 nuitées en espace semi-urbain et 3.750.000 nuitées en zone rurale). Le document² explicitant la situation wallonne renseigne que, sur les 579 hôtels recensés en Wallonie en 2012, la plupart (299, soit 51,6%) possèdent 3 étoiles, suivis par les « 2 étoiles » (134/579, soit 23,1%) et les « 4 étoiles » (61/579, soit 10,5%). De même, la plupart des établissements (462/579, soit 80%) offrent moins de 25 chambres (et 18% en offrent entre 25 et 99).

¹http://statbel.fgov.be/fr/binaries/Pub%20-%2000%20-%20Belgique%20-%202012_tcm326-230881.pdf

²http://economie.fgov.be/fr/binaries/Pub%20-%2002.3%20-%20R%C3%A9gion%20wallonne%20-%202012_tcm326-230927.pdf

D'après l'enquête récente réalisée auprès des établissements hôteliers par l'UCM, le nombre de chambres par hôtel est le suivant :

Type de bâtiment	Nombre de chambres par hôtel						TOTAL
	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	>50	
Etablissement hôtelier	20,7 %	37,9 %	13,8 %	6,9 %	3,5 %	17,2 %	100 %

4.2. Choix des immeubles d'hôtel

D'après les informations concernant l'âge et la taille des bâtiments ci-dessus, il semble logique de cerner la sélection des 2 bâtiments hôteliers comme ceci :

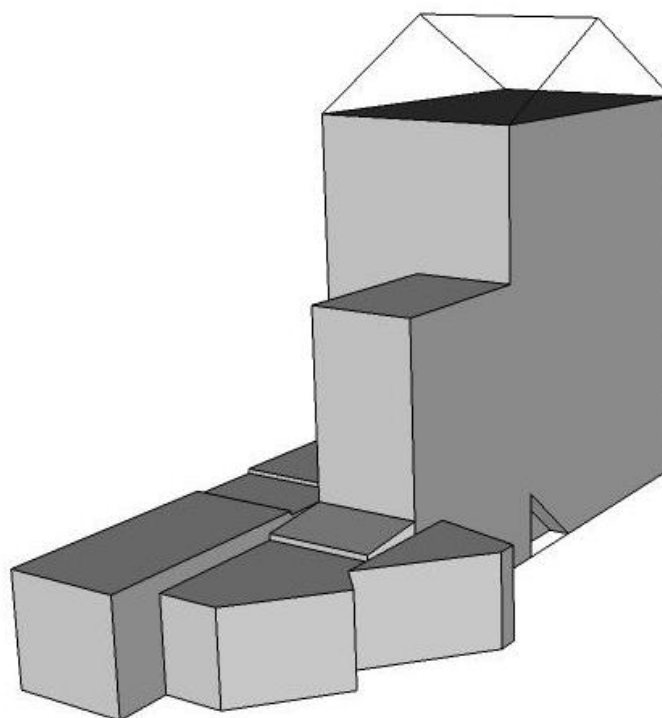
- 1 bâtiment d'avant 1945 comportant moins de 10 chambres.
- 1 bâtiment datant de 1945-1995 comportant entre 10 et 20 chambres.

Pour la 1^{ère} catégorie, nous avons retenu l'hôtel suivant :

Hôtel des Ardennes à Verviers

Bâtiment d'avant 1945, comportant moins de 10 chambres.

Bâtiment principal avec toitures à deux versants et de nombreuses extensions à toiture plate ou à verrière en façade arrière.



Volumétrie arrière du bâtiment

*Façade avant**Façade latérale*

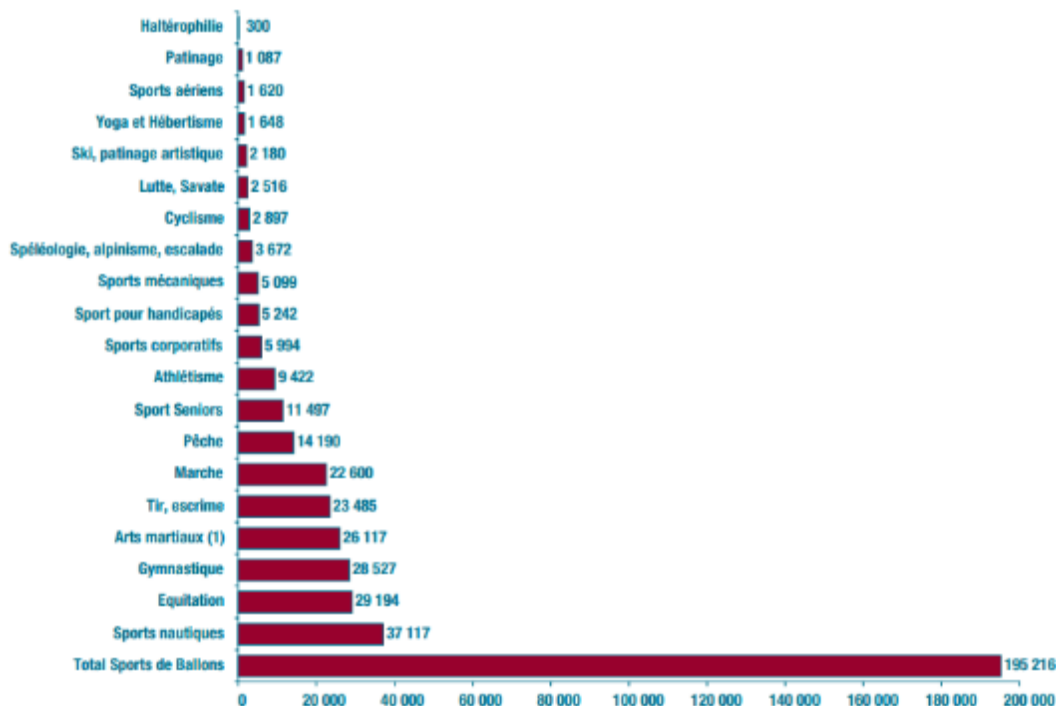
Mitoyen construit sur la droite et au fond de la parcelle et mitoyen non construit sur la gauche.
Murs pleins en briques, combles non aménagés, caves sous une partie du bâtiment principal.

Pour la 2^{ème} catégorie, nous n'avons pas encore déterminé de bâtiment de référence à ce jour.

5. Les établissements sportifs choisis

5.1. Les caractéristiques des bâtiments destinés à l'enseignement

Une première indication sur les sports les plus populaires en Communauté française peut être trouvée dans [9], via le nombre d'affiliés :



Sans être une statistique claire sur les halls sportifs (chauffés/climatisés), la dominante claire des sports de ballons marque la nécessité de considérer un hall de taille suffisante pour abriter ce type de sports (volley-ball, basket-ball, football en salle...).

Une autre statistique intéressante est celle délivrée par le nombre d'aménagements sportifs subsidiés par la Région wallonne en 2007 [9] :

	Wallonie	Brabant wallon	Hainaut	Liège	Luxembourg	Namur
Aire de lancer	51	4	23	10	8	6
Aire de saut	58	3	33	11	8	3
Bassin de natation	259	22	73	100	29	35
Circuit pour sports moteurs	2	0	1	0	1	0
Ligne de tir	205	14	79	50	32	30
Mur d'escalade	65	3	20	21	14	7
Parcours	9	0	3	2	1	3
Parcours de golf	41	20	2	9	6	4
Piste d'athlétisme	117	15	45	27	17	13
Piste de roller	65	10	21	17	6	11
Piste de ski alpin	3	0	0	3	0	0
Piste de ski de fond	3	0	0	2	1	0
Piste d'équitation	230	28	67	78	25	32
Plan d'eau	7	0	3	2	0	2
Salle de sport	1 614	171	471	487	252	233
Terrain "sports de rue"	325	37	86	109	44	49
Terrain de balle-pelotte	183	21	92	2	2	66
Terrain de base-ball	11	2	5	3	0	1
Terrain de beach-volley	17	2	3	1	3	8
Terrain de football	1 151	91	326	293	239	200
Terrain de hockey	17	4	6	6	0	1
Terrain de pétanque	735	51	193	164	156	171
Terrain de rugby	39	7	15	14	3	0
Terrain de tennis	1 252	127	405	399	160	161
Terrain multisport	36	1	14	6	8	7
Vélodrome	4	1	1	1	0	1
Total	6 499	634	1 989	1 817	1 015	1 044

Ici encore, les chiffres avancés doivent être triés, en fonction de la nécessité de chauffer les installations subsidiées. Ainsi, un terrain de football, un terrain de tennis ou un terrain de pétanque est souvent en extérieur (ou dans un hall non chauffé), et n'est donc pas concerné par cette étude.

5.1.1. Le vecteur énergétique

Les piscines ont été identifiées par [7] comme des bâtiments dont la typologie particulière abrite un « fonctionnement thermique particulier ». L'ICEDD (dans [10]) en comptait 259 en 2006, ce qui correspond aux chiffres du tableau ci-dessus. Voici la répartition des 25 établissements qui ont répondu à l'enquête de l'ICEDD :

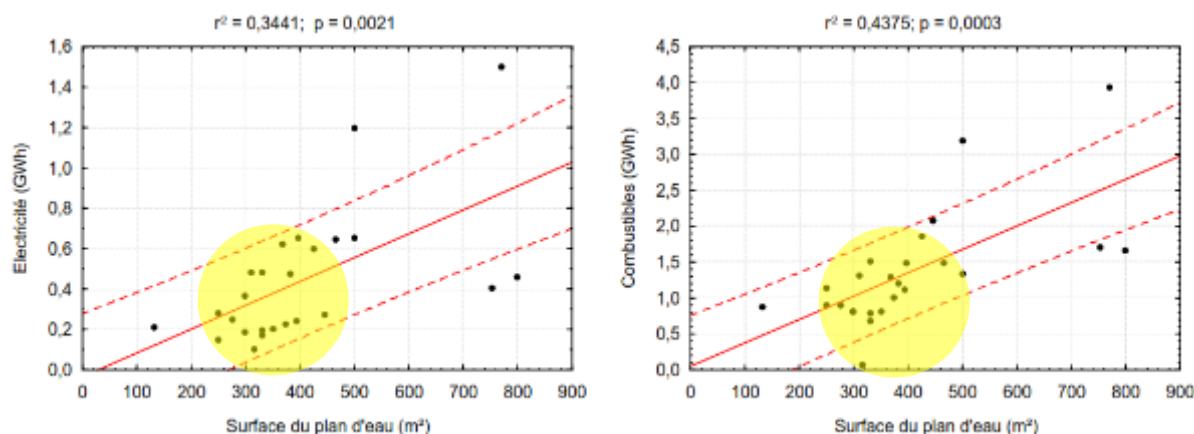


Figure 138 - Consommations d'électricité et de combustibles des piscines en 2008

5.1.2. La taille des bâtiments

21 d'entre eux (84%) ont une surface comprise entre 200 et 500 m² ; 52% entre 300 et 400 m². Selon la même source :

- 29% des établissements interrogés sont climatisés ;
- 17% situent leur construction ou leur dernière grosse rénovation après 1996, 70% avant 1945, ce qui les place dans une situation de performance énergétique médiocre. Les études [10] et [7] le confirment d'ailleurs dans ce tableau (bien que) :

Typologie	Valeur ICEDD [kW.h/m ²]	Valeur calculée [kW.h/m ²]	Différence relative
Administration	199	218	9,4 %
Petits commerces	1 426	1 287	-9,7 %
Supermarchés	601	706	17,5 %
Hypermarchés	316	346	9,6 %
Sports	235	196	-16,4 %
Hôtels et restaurants	556	586	5,4 %
Enseignement	161	153	-5 %
Soins de santé	305	260	-14,7 %
Piscine	4 470	4 470	0 %
Culture	261	261	0 %

TABLE 4.2 – Validation de la consommation spécifique moyenne par typologie fonctionnelle - ICEDD [9]

Deux autres conclusions sont tirées par cette étude :

- L'impact des piscines sur la répartition globale des consommations énergétiques du secteur tertiaire soit faible (de l'ordre de 2%)

- Elles font parties (comme les « hôtels et restaurants », par ailleurs) des typologies fonctionnelles qui ont un impact plus important sur les émissions surfaciques de CO₂.

Les piscines publiques peuvent se retrouver au sein d'établissements abritant de plus amples complexes sportifs :

- Les salles de fitness proposent souvent un accès à une piscine (« publique », mais réservée aux membres), un sauna ou un bain à bulles. Cependant, on retrouve souvent ces services (dont l'offre s'est beaucoup développée ces dernières années) dans des bâtiments construits ou rénovés récemment.
- Les grands halls multisports (abritant des terrains de football, de volley-ball, de basket-ball, de tennis, de badminton, de gymnastique, de judo, d'escalade...) peuvent également proposer un accès à une piscine. Malgré leur faible représentativité dans l'étude de l'ICEDD [10], 78% d'entre eux mesurent entre 1.000 et 3.000 m² (49% entre 1.000 et 2.000, 30% entre 2.000 et 3.000) :

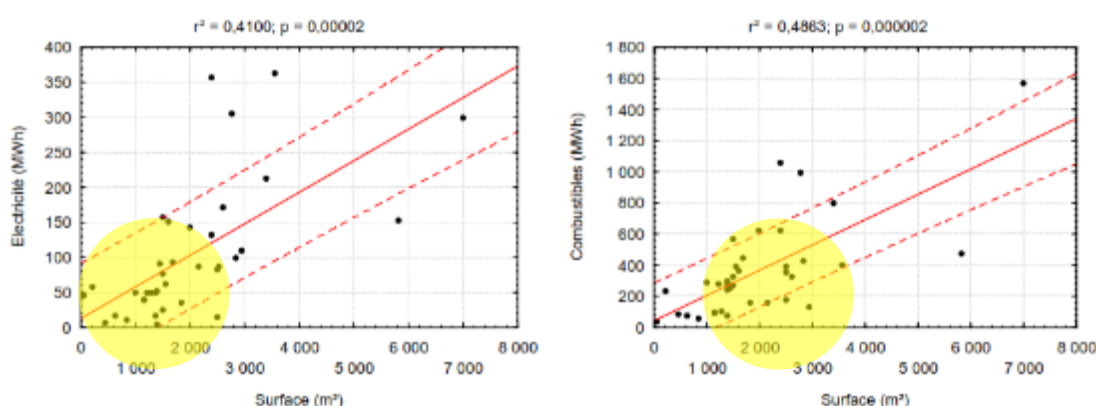


Figure 140 - Consommations d'électricité et de combustibles des complexes sportifs en 2008

5.2. Choix des établissements sportifs

Il semble logique de cerner la sélection des 2 bâtiments sportifs sur :

- Une piscine publique, chauffée toute l'année, couverte par un bâtiment ancien (datant d'avant 1945), souvent mal isolé et présentant une surface vitrée importante. En plus des équipements supplémentaires nécessaires (comme les vestiaires et les douches), ce bâtiment pourrait accueillir d'autres services comme une cafétéria, une salle de sport ou une pataugeoire pour enfants).
- Un hall « multisport » de taille plus importante (entre 2000 et 3000 m²) pouvant accueillir des sports de balle. Généralement, on trouve dans ce genre d'installation³ :
 - Un ou plusieurs plateaux sportifs, permettant le sport de compétition (amateur ou professionnel) et des possibilités d'entraînement
 - Éventuellement une ou des salles polyvalentes
 - Des vestiaires pour les joueurs et les arbitres
 - Une cafétéria

A ces quatre programmes principaux peuvent encore venir se greffer des locaux techniques et d'accueil : bureaux, conciergerie, infirmerie, réserve à matériel, locaux techniques, salle de réunion, gradins...

³http://pouvoirslocaux.wallonie.be/jahia/webdav/site/dgpl/shared/Infrasports/Guide_halls_des_sports_version_finale.pdf

Nous avons rencontré Madame Jadot, responsable de la Direction des Infrastructures Sportives du SPW.

Elle nous a fourni des informations concernant les typologies des piscines et hall sportifs les plus représentatifs du parc Wallon :

- Piscines : piscines des années '70, construction en béton ou en briques, façades peu vitrées, puits de lumière en toiture.
- Hall sportifs : halls des années '80, construction en béton préfabriqués, volumétries très sobres.

Parmi les exemples de bâtiments représentatifs que Madame Jadot nous a cités, nous avons retenu les suivants :

Piscine de Saint-Georges-Sur-Meuse

Piscine des années '70, en cours de rénovation actuellement.



Vue de la façade avant



Vue intérieure

Hall omnisport d'Andrimont

Bâtiment des années '80 en éléments de béton préfabriqués. Bâtiment principal avec extensions.



Vue de la façade avant



Vue des façades latérales



Vue aérienne de l'implantation du bâtiment

6. Mesures-groupes-variantes

Comme explicité dans la partie consacrée aux bâtiments résidentiels, les exigences actuelles en Wallonie en matière de rénovation portent uniquement sur les U de parois. C'est pourquoi seules les mesures liées à l'enveloppe sont analysées dans cette étude. Aucune mesure concernant les systèmes installés dans l'habitation n'est étudiée mais pourra faire l'objet d'une étude ultérieure.

L'ensemble des mesures / groupes / variantes étudié pour les bâtiments tertiaires et « autres » existants est donc construit à partir de modifications des murs, des fenêtres, de la dalle de sol et de la toiture.

Les différentes options envisagées suivent un canevas semblable à celui proposé pour le secteur résidentiel. Pour une même paroi, le canevas d'actions est le suivant:

1ère opération:

- Respect des exigences U_{max} de 2012

2ème opération:

- Respect des exigences U_{max} d'application depuis 2014

3ème opération:

- Respect d'un niveau de performance intermédiaire entre celui exigé en 2014 et le standard passif. Dans cette opération, un vitrage solaire est appliqué

4ème opération:

- Respect des exigences liées au standard passif

Les différentes caractéristiques thermiques des parois sont identiques à celles considérées dans le secteur résidentiel. Pour rappel :

	U2012		U2014		U3		Upassif	
PAROIS OPAQUES								
façades	0,32		0,24		0,2		0,15	
mitoyen	1		1		1		0,8	
sol	0,35		0,3		0,24		0,15	
toiture	0,27		0,24		0,2		0,15	
PAROIS TRANSLUCIDES								
	U _w	U _g	U _w	U _g	U _w	U _g	U _w	U _g
fenêtres	2,2	1,3	1,8	1,1	1,4	0,8	0,8	0,5
(facteur solaire)	g=0,63		g=0,50		g=0,38		g=0,50	
porte	2,2		2		1,5		0,8	

Tableau 1 : Caractéristiques thermiques des parois rénovées (U en W/m²K) pour les bâtiments tertiaires et autres

A ce stade, les groupes de mesures qui seront envisagés dans la suite de cette étude ne sont pas encore complètement définis. La liste et le tableau ci-dessous reprennent donc, à titre d'exemple, les différents groupes/mesures/variantes qui avaient été appliqués au Petit Bâtiment de Bureaux existant de référence (PBE2) dans l'étude COZEB.

- remplacement des fenêtres : F ;
- isolation du toit seul : Utoit ;
- remplacement des fenêtres et isolation du toit : F + Utoit ;
- remplacement des fenêtres, isolation du toit et des parois opaques : F + Utoit + Umur ;
- remplacement des fenêtres, isolation du toit, des parois opaques et du sol : F + Utoit + Umur + Usol.

CAS	Groupe de mesures / variantes				
	Enveloppe				
	parois transparentes	toiture	parois opaques	sol	Infiltration
0					12
1	F2012				9.34
2	F2014				9.34
3	F3				9.34
4		Utoit 2012			11.63
5		Utoit 2014			11.63
6		Utoit 3			11.63
7	F2012	Utoit 2012			8.97
8	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 int		8.58
9	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 int	Usol 2012 int	8.21
10	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 ext		8.58
11	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 ext	Usol 2012 int	8.21
12	F2014	Utoit 2014			8.97
13	F2014	Utoit 2014	Umur 2012 int		8.58
14	F2014	Utoit 2014	Umur 2012 ext		8.58
15	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 int		8.58
16	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 int	Usol 2014 int	8.21
17	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 ext		8.58
18	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 ext	Usol 2014 int	8.21
19	F3	Utoit 3			8.97
20	F3	Utoit 3	Umur 3 int		8.58
21	F3	Utoit 3	Umur 3 ext		8.58
22	F3	Utoit 3	Umur 3 int	Usol 3 int dalle	8.21
23	F3	Utoit 3	Umur 3 ext	Usol 3 int dalle	8.21
24	Fpas	Utoit pas	Umur pas int	Usol pas int	7.27
25	Fpas	Utoit pas	Umur pas ext	Usol pas int	7.27

Tableau 2 : Variantes envisagées pour le petit bâtiment de bureaux existant (PBE2)

Les différents groupes/mesures/variantes seront spécifiques à chaque bâtiment étudié, en fonction de sa configuration : sur cave/sur sol, mitoyen à un autre bâtiment ou non, en milieu urbain ou rural,...

Une variante consistant à faire varier le pourcentage de vitrage sera également envisagée pour certains cas (au moins le bureau GB7<45), afin de pouvoir couvrir une plus grande proportion de bureaux.

PARTIE 4 : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce panel de bâtiments reflète bien l'ensemble du bâti existant wallon.

Tous les bâtiments choisis feront l'objet d'une étude détaillée de leur géométrie et de leurs caractéristiques thermiques dans la suite de l'étude.

Ensuite pour chaque typologie, une série de différentes rénovations énergétiques sera appliquée et la variante la plus rentable économiquement sera mise en évidence.

A l'issue de cette étude, l'occupant de tout logement existant ou de tout bâtiment tertiaire existant en Wallonie pourra l'identifier à une typologie et en déduire la rénovation énergétique qui est la plus rentable pour lui.

PARTIE 5 : BIBLIOGRAPHIE

[7] *Cartographie des émissions annuelles de CO2 dues aux consommations énergétiques des bâtiments tertiaires en Région wallonne*, rapport de synthèse réalisé en 2013 par le LEMA (ULG – Sigrid Reiter et Mathieu Barbason).

[8] *Structuration du territoire pour répondre aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre*, rapport final sur le thème 2B de la Conférence Permanente sur le Développement Territorial.

[9] *Les chiffres clés de la Wallonie* », état annuel de la Wallonie (n°11 de décembre 2010) publié par l'Institut Wallon de l'Evaluation, de la Prospective et de la Statistique (IWEPS).

[10] *Bilan énergétique de la Wallonie 2008, secteur domestique et équivalent*, réalisé en octobre 2010 par ICEDD asbl pour le compte du Service Public de Wallonie

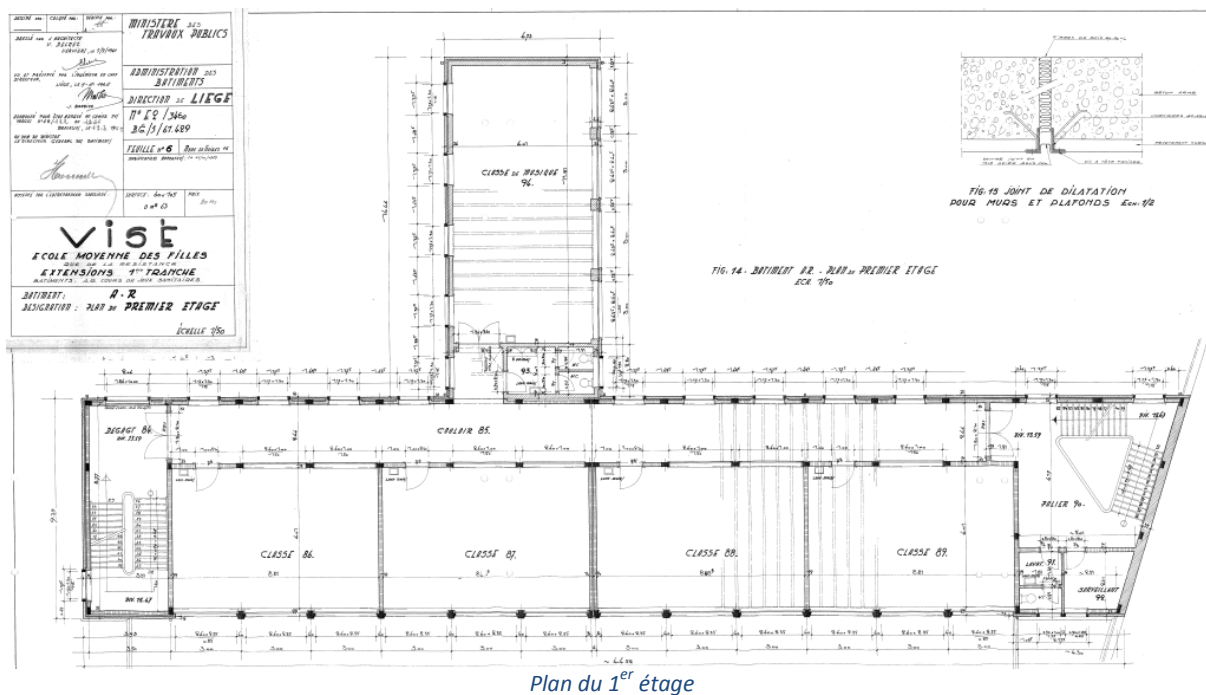
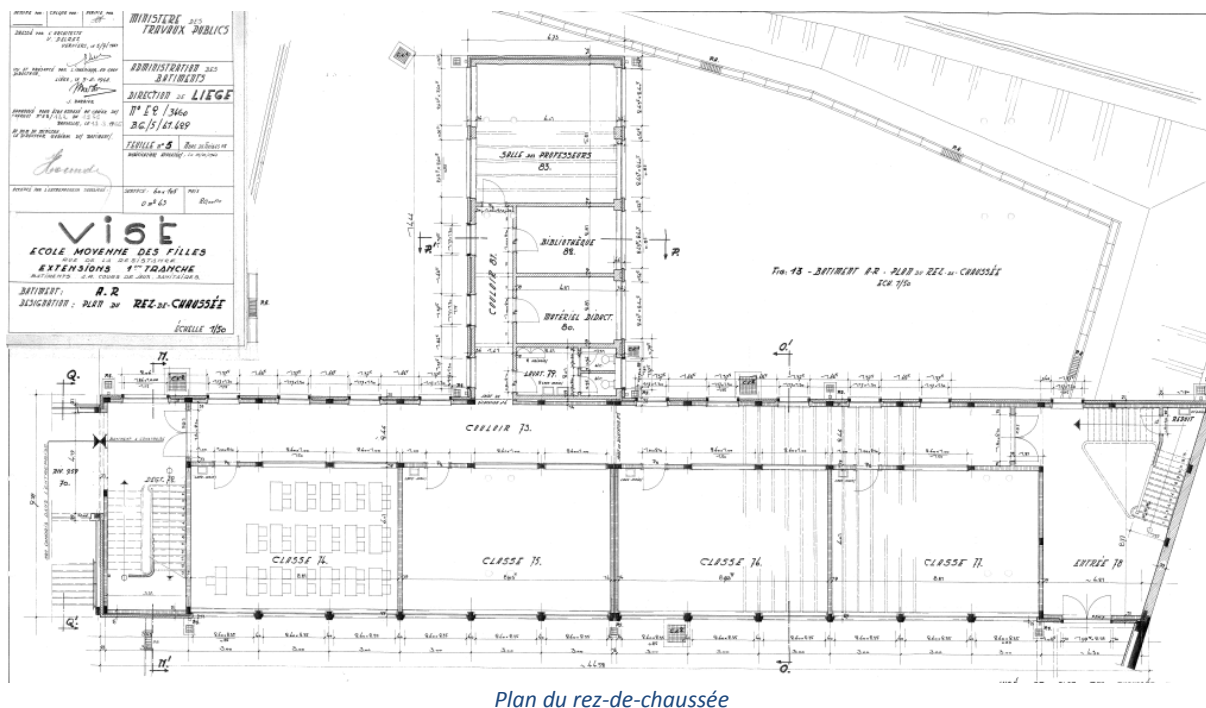
[11] *Enquête sur la Qualité de l'habitat en Région wallonne 2006-2007*, enquête réalisée par la Direction Générale de l'Aménagement du Territoire, du Logement et du Patrimoine en 2007.

[12] *Epicool, Active koeling in EPB software*, chapitre R02 - Definitie en simulatie van referentigebouwen. ULg & KUL.

[13] *Etude pour l'extension de la méthode de calcul de la Performance Energétique des Bâtiments réalisée pour le compte de la Région Wallonne et de la DGTRE*, Architecture et Climat

PARTIE 6 : ANNEXES

Annexe 1: Géométrie et caractéristiques générales de l'école maternelle de 1950 – E2



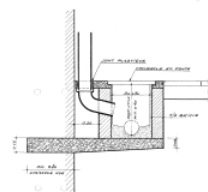
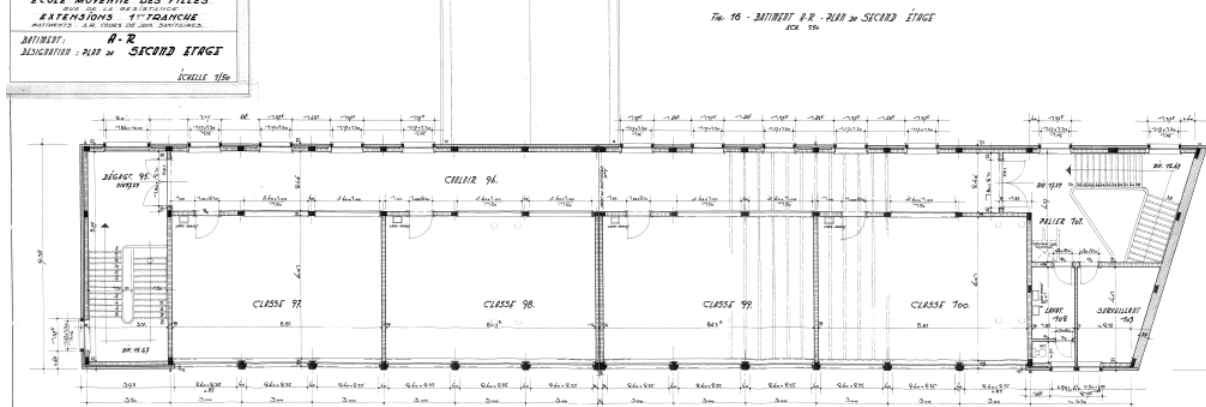
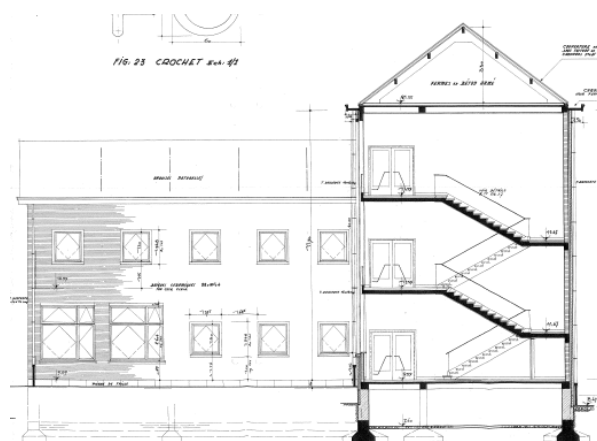


FIG. 17. PUISARD DE SOUCHE avec 3/4

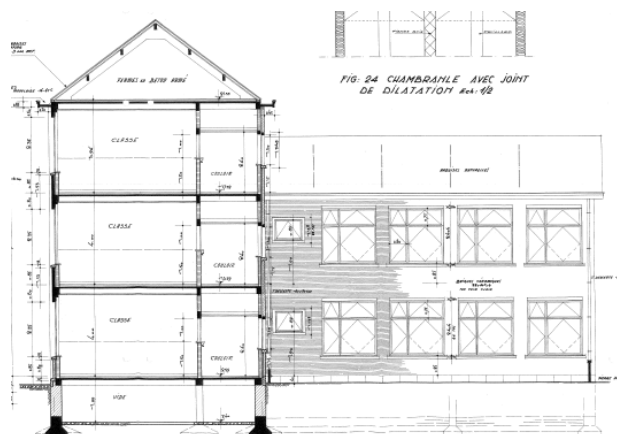
Fig. 16 - BATIMENT R-R - PLAN DE SECOND ETAGE
SC. 19



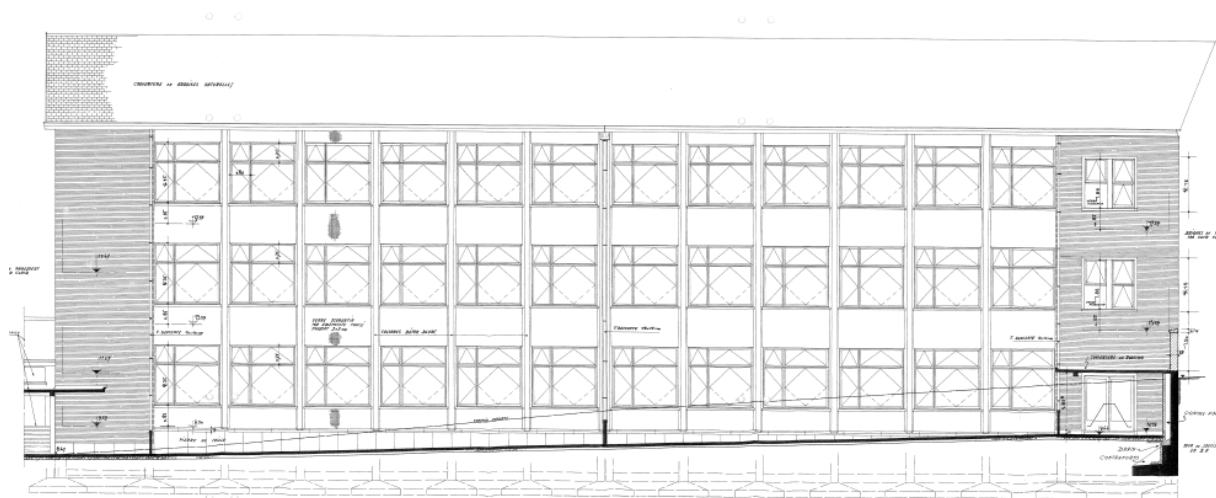
Plan du 2ème étage



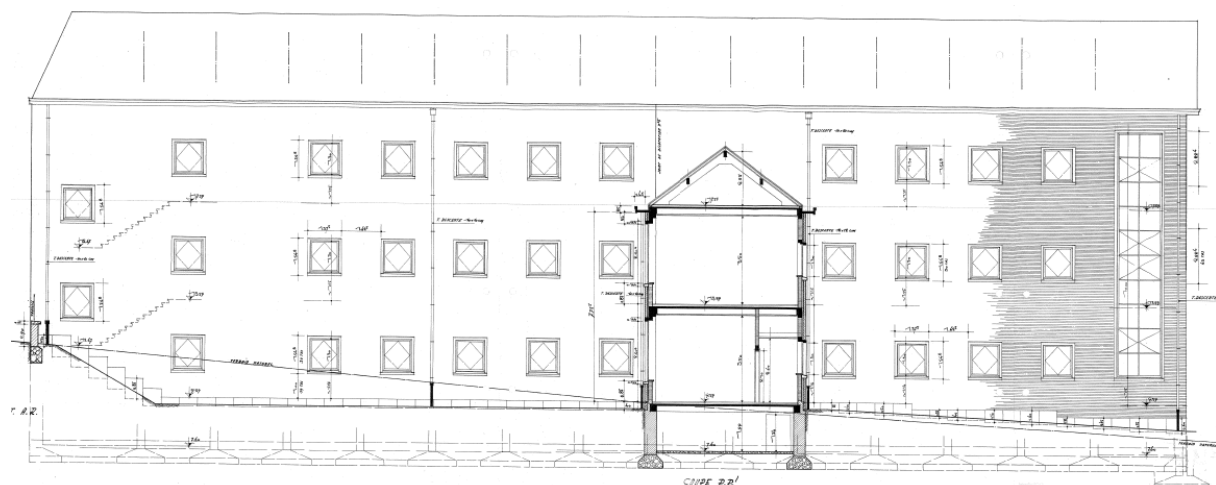
Coupe 1



Coupe 2

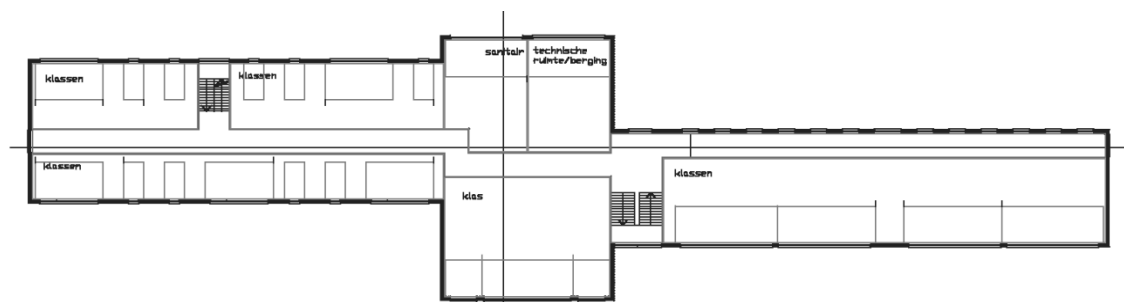


Façade avant

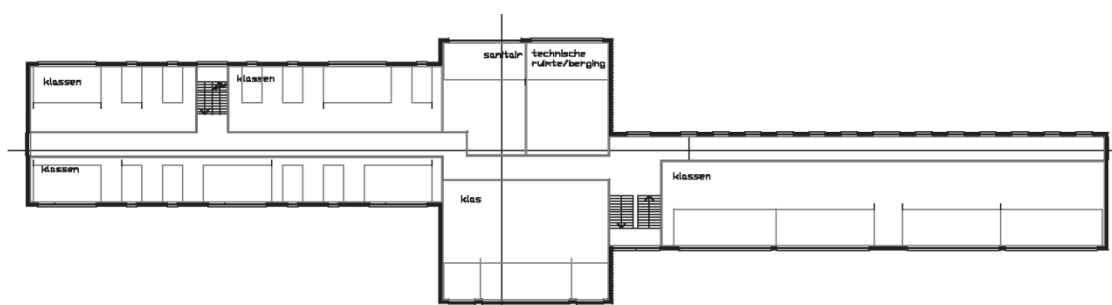
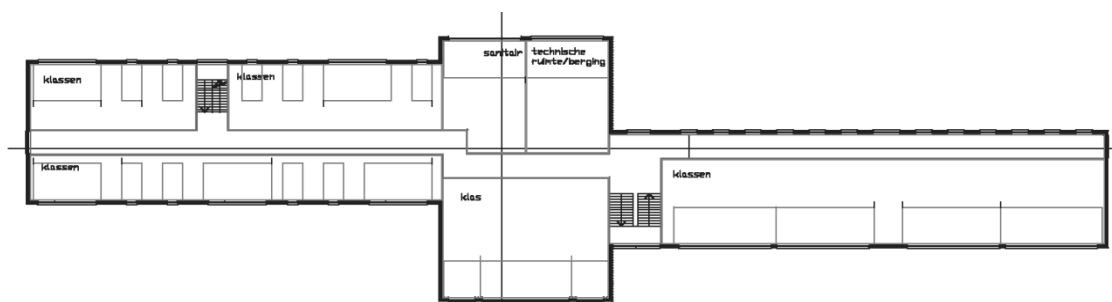
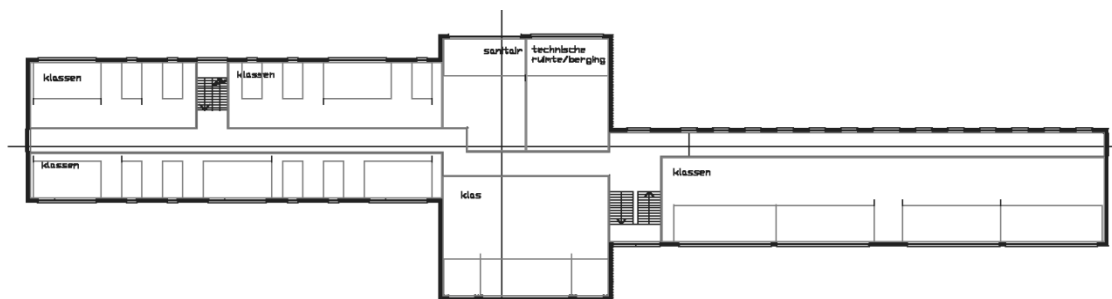


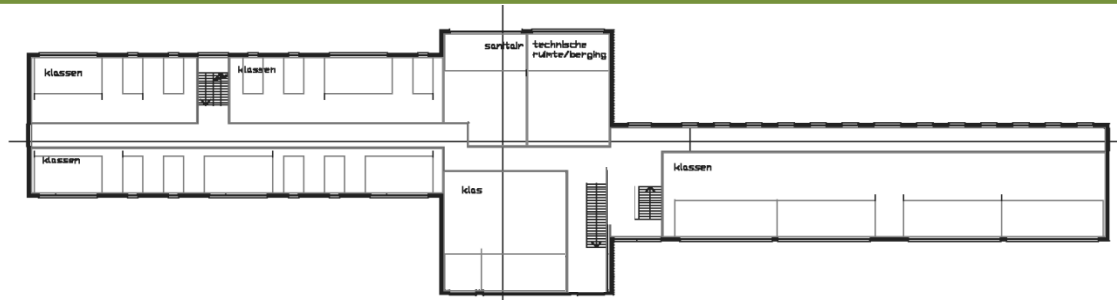
Façade arrière

Annexe 2: Géométrie et caractéristiques générales de secondaire > 1970 – E3

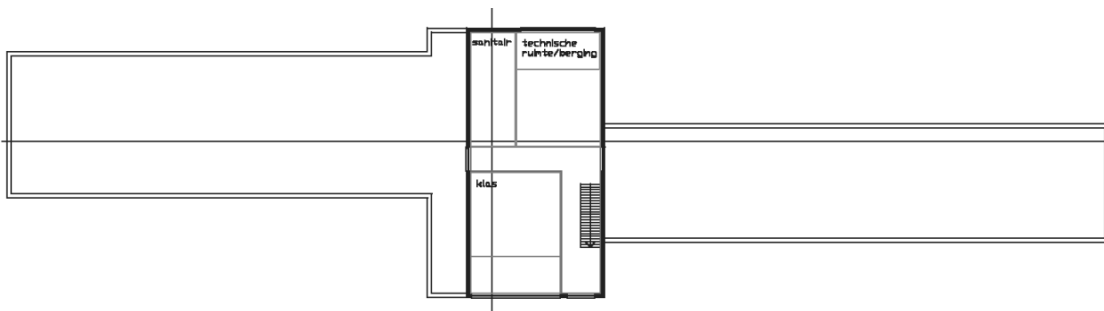


Plan du rez-de-chaussée

Plan du 1^{er} étagePlan du 2^{ème} étagePlan du 3^{ème} étage

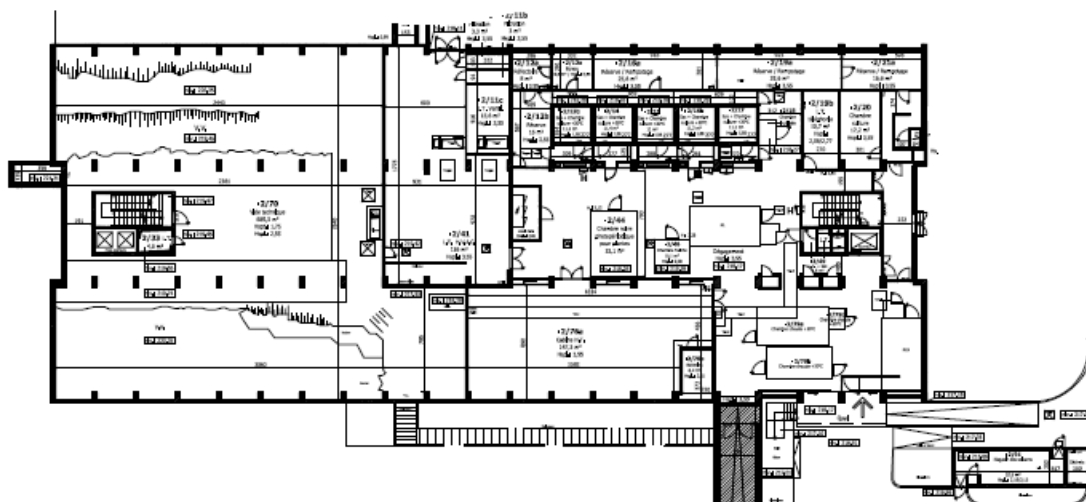


Plan du 4^{ème} étage

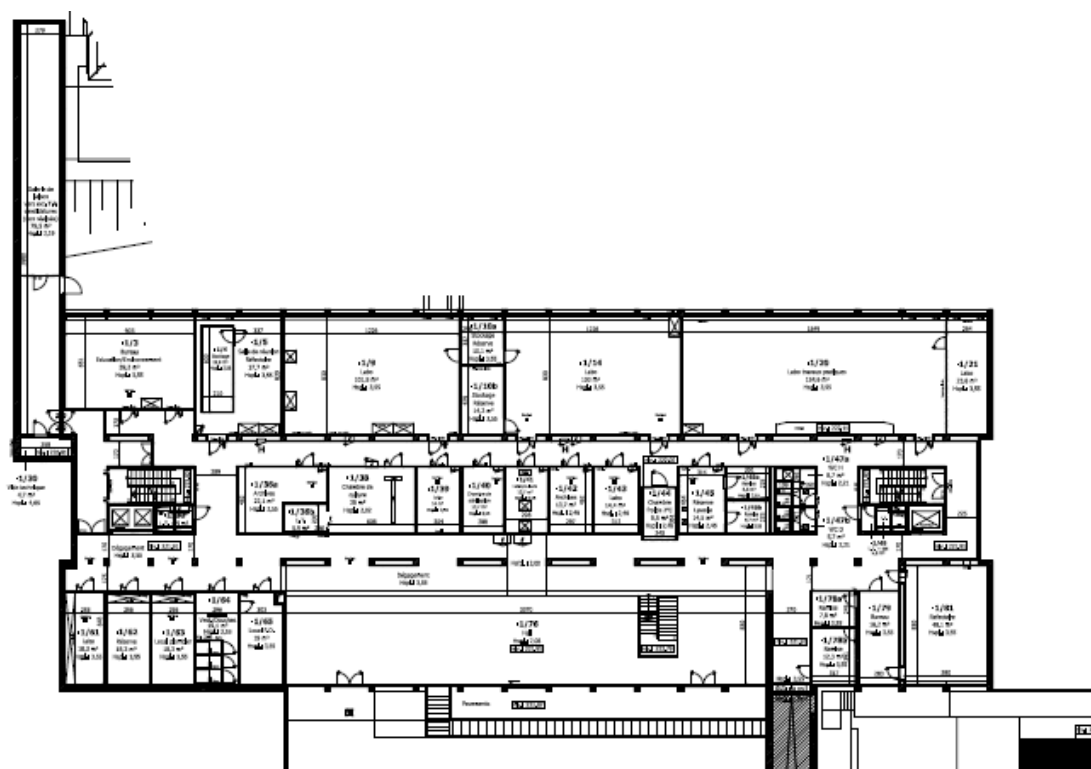


Plan du 5^{ème} étage

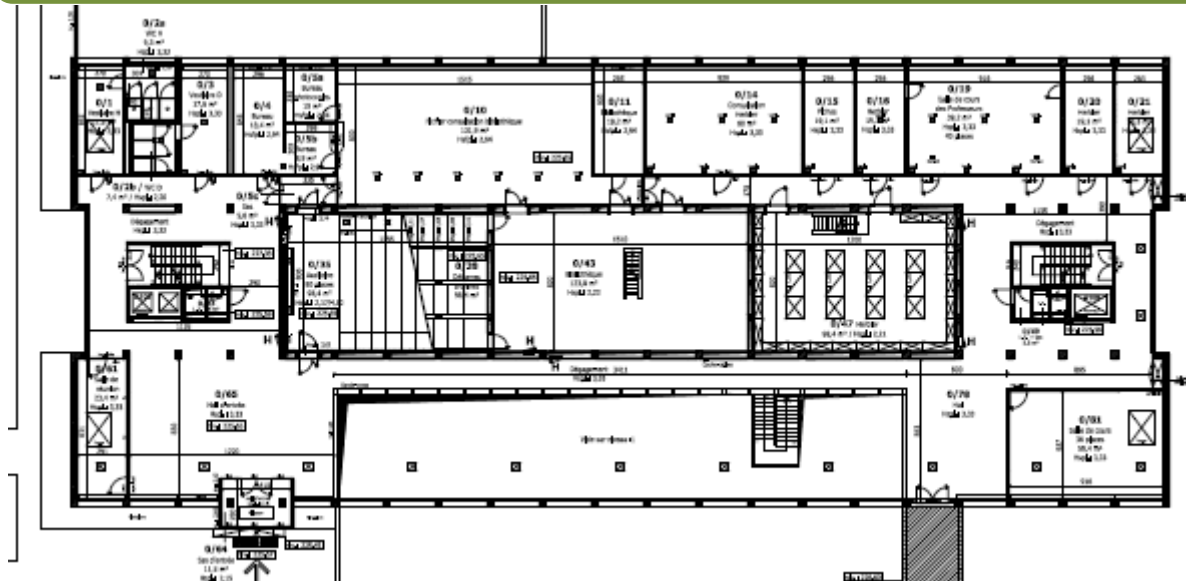
Annexe 3: Géométrie et caractéristiques générales de l'école universitaire de 1968 – E4



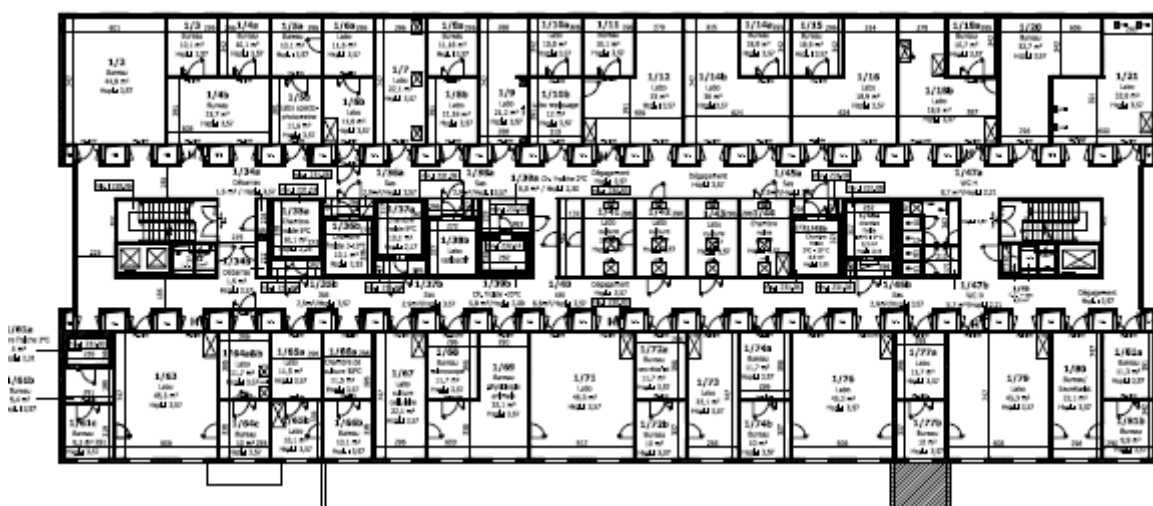
Plan de l'étage -2



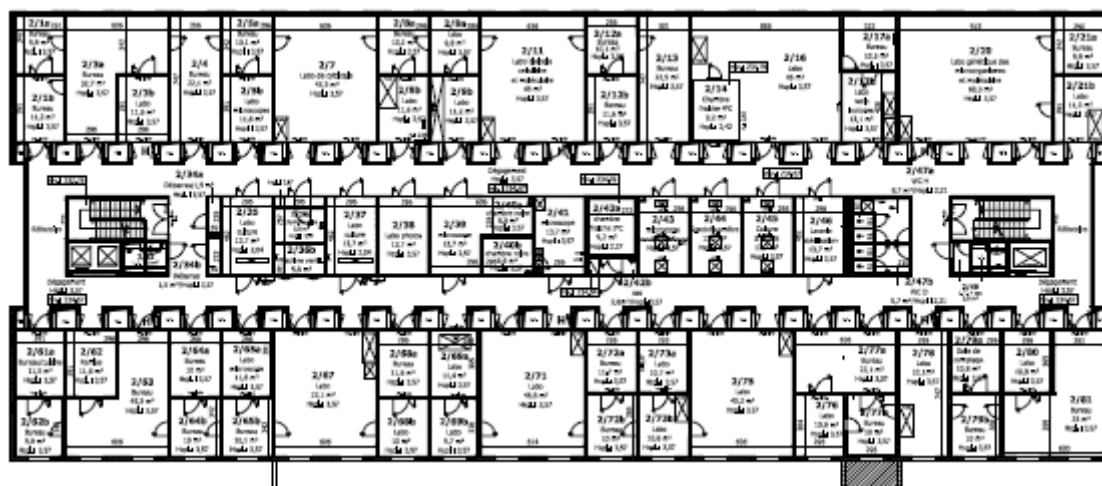
Plan de l'étage -1



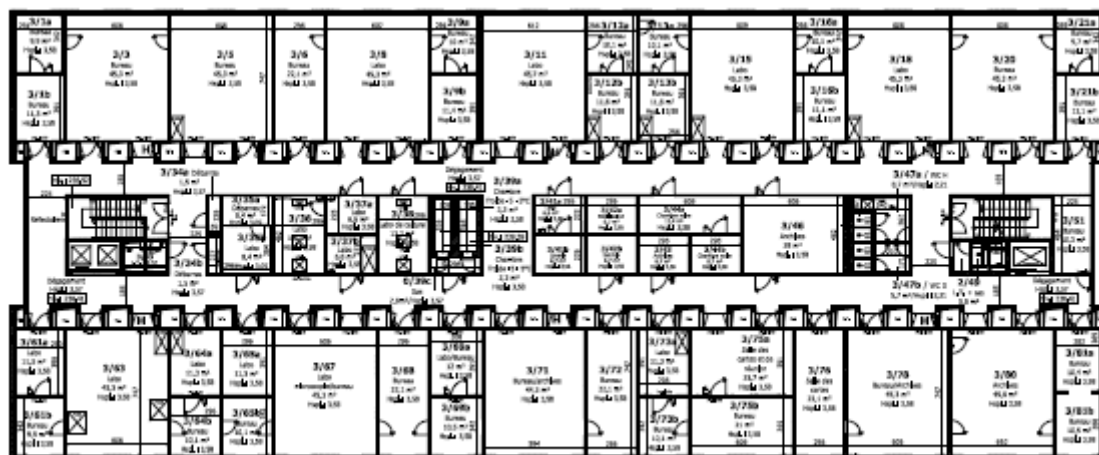
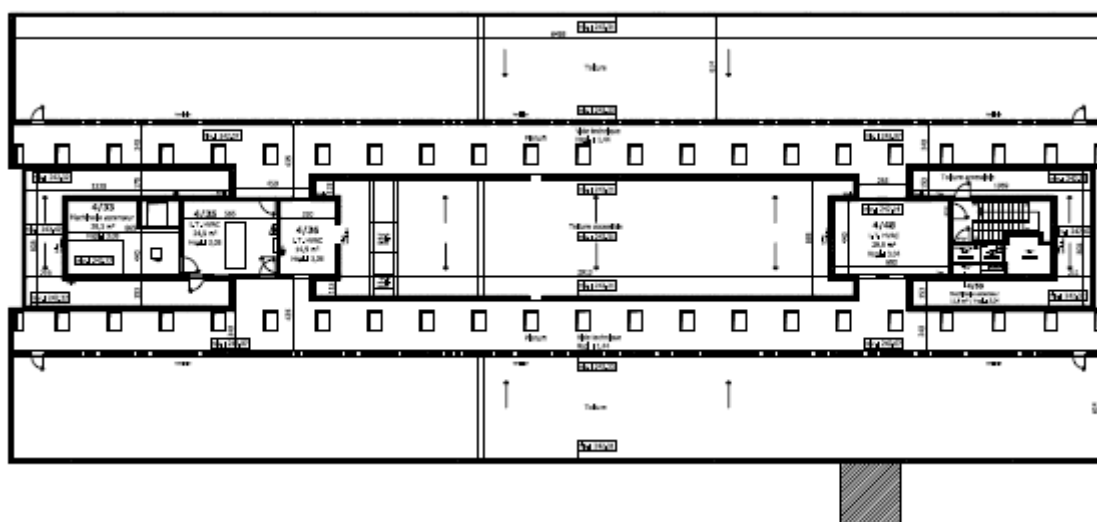
Plan du rez-de-chaussée



Plan du 1^{er} étage



Plan du 2^{ème} étage

Plan du 3^{ème} étagePlan du 4^{ème} étage

Annexe 4 : Hypothèses de simulation PEB et caractéristiques des systèmes des immeubles destinés à l'enseignement

Nœuds constructifs

Les exigences sur les nœuds constructifs ne sont pas d'application lors de la rénovation d'un bâtiment dans la réglementation PEB.

Étanchéité à l'air

Aucune valeur n'a été trouvée dans la littérature pour le débit de fuite des bâtiments destinés à l'enseignement. Toutefois, la valeur introduite pour le bâtiment avant travaux de rénovation est une valeur tirée de l'étude TABULA (<http://www.building-typology.eu/>), correspondant à une typologie d'immeuble d'appartements se rapprochant le plus possible des typologies étudiées pour les bâtiments destinés à l'enseignement.

Quand on remplace les fenêtres, que l'on isole le toit et/ou les murs, l'étanchéité du bâtiment est améliorée. On considère dès lors une valeur différente du débit d'infiltration / exfiltration.

Les valeurs du débit de fuite sont reprises dans les tableaux ci-dessous :

E1		Volume	3551,9
Enveloppe		At	2444,4
Cas	Étanchéité (v50)	Étanchéité (n50)	
base	15,0	10,3	
F	10,0	6,9	
T	12,0	8,3	
F+T	8,0	5,5	
F+T+M	5,0	3,4	
F+T+M+S	4,5	3,1	
PASSIF	2,5	1,7	

E2		Volume	6187,7
Enveloppe		At	2690,9
Cas	Étanchéité (v50)	Étanchéité (n50)	
base	15,0	6,5	
F	10,0	4,3	
T	12,0	5,2	
F+T	8,0	3,5	
F+T+M	5,0	2,2	
F+T+M+S	4,5	2,0	
PASSIF	2,5	1,1	

E3		Volume	19775,4
Enveloppe		At	6291,9
Cas	Étanchéité (v50)	Étanchéité (n50)	
base	14,0	4,5	
F	9,5	3,0	
T	11,5	3,7	
F+T	7,5	2,4	
F+T+M	5,0	1,6	
F+T+M+S	4,5	1,4	
PASSIF	2,5	0,8	

E4		Volume	41800,0
Enveloppe		At	11114,0
Cas	Étanchéité (v50)	Étanchéité (n50)	
base	15,0	4,0	
F	10,0	2,7	
T	12,0	3,2	
F+T	8,0	2,1	
F+T+M	5,0	1,3	
F+T+M+S	4,5	1,2	
PASSIF	2,5	0,7	

où F= remplacement des fenêtres, T= isolation de la toiture, M= isolations des murs, S= isolation des sols

Inertie

L'inertie considérée dans les bâtiments existants est celle utilisée par défaut dans la PEB, quelle que soit la simulation. Cette valeur correspond à 55 kJ/(m²K).

Ombrage

Les valeurs par défaut implémentées dans la PEB sont utilisées dans l'ensemble des simulations effectuées.

Protections solaires

Pour les bâtiments destinés à l'enseignement, aucune protection solaire intérieure ou extérieure ne sera considérée.

Ventilation

D'après Madame Fiasse, architecte à la Direction régionale de Liège de l'Administration générale de l'Infrastructure, la plupart des écoles existantes ne disposent d'aucun système de ventilation.

Nous considérons donc que les bâtiments destinés à l'enseignement maternel/primaire (E1 + E2) et secondaire (E3) ne possèdent pas de système de ventilation.

Etant donné que le bâtiment universitaire (E4) comporte des laboratoires, il dispose d'un système de ventilation avec alimentation et extraction mécanique, mais sans récupérateur de chaleur. Nous avons donc considéré ce système de ventilation dans le cadre de notre étude.

Ventilation : alimentation mécanique, extraction mécanique	
Type de régulation	Pas de régulation horaire, fonctionnement continu (IDA-C1)
Puissance spéc. des ventilateurs	Entre 750 et 1250 W.s/m³ (SFP 3)
Type de calcul énergie auxiliaires	Calcul simplifié
Pas de ventilation à la demande	
Pas de recyclage de l'air de ventilation	
Pas de (pré)-refroidissement de l'air fourni	

Chauffage

Le tableau suivant reprend les chaudières qui sont installés dans les 3 bâtiments destinés à l'enseignement disposant d'une installation de chauffage central individuelle (E1, E2, E3) ainsi que leurs caractéristiques et valeurs encodées dans le logiciel PEB.

	E1 CC mazout	E2 CC gaz	E3 CC gaz
rendement à 30% de charge	75%	82%	82%
Hors du volume protégé	oui	oui	oui
T° de retour à 30% de charge			
chaudière	oui	oui	oui

maintenue en t°			
valeur par défaut pour la T° de retour			
veilleuse		oui	oui
Auxiliaire circulateur	calcul par défaut	par unité avec régulation	calcul par défaut
75% des moteurs équipés d'un régulateur	non	non	non
Régulation par local	oui	oui	oui
Plusieurs systèmes de production	non	non	non

Caractéristiques des systèmes de chauffage pour les bâtiments destinés à l'enseignement E1, E2, E3

Le bâtiment E4 est chauffé par une installation de cogénération bois (générateur préférentiel) ainsi que d'une chaudière gaz non à condensation (générateur non préférentiel), partagées avec d'autres bâtiments du campus universitaire.

	E2 CC cogen bois
Type de générateur	Cogénération sur site
Type de technologie de cogénération	Autre
Vecteur énergétique	Bois
chaudière maintenue en t°	Non
Identifiant de l'appareil	Appareil 3
Puissance	7.000 kW
Puissance électrique	1.5000 kW
Volume d'eau du ballon	1.400 m³
Ecart de t° entre départ et retour	40° C
Régulation par local	Non
Plusieurs systèmes de production	oui

Caractéristiques du système de chauffage préférentiel pour le bâtiment destiné à l'enseignement E4

	E2 CC gaz
rendement à 30% de charge	95%
Hors du volume protégé	oui

T° de retour à 30% de charge	
chaudière maintenue en t°	Non
valeur par défaut pour la T° de retour	
veilleuse	Non
Auxiliaire circulateur	calcul par défaut
75% des moteurs équipés d'un régulateur	non
Régulation par local	Non
Plusieurs systèmes de production	oui

Caractéristiques du système de chauffage non préférentiel pour le bâtiment destiné à l'enseignement E4

Eclairage

Dans les bâtiments existants destinés à l'enseignement, la puissance installée est calculée par défaut dans le logiciel PEB car les caractéristiques de l'éclairage sont inconnues.