Nouveaux locaux pour Sciences Po Lille

23, Rue d'Inkermann 59000 Lille

F2210 INKERMANN

Maître d'ouvrage :

Sciences Po Lille
9, rue Auguste Angellier
59000 LILLE
Tél : +33 (0)3 20 90 48 40

Architecte :

ATELIER 2F
130 boulevard de la Liberté
59000 LILLE
Tél : +33 3 20 57 25 44
www.atelier2f.net

Bureau d'études techniques :

OVERDRIVE
11, rue Théodore Blanc - Bât B -
CS 30125 33070 BORDEAUX Cedex
Tél : +33 05 64 10 01 50

Ecologue :

ECO'LogiC
98 bis, rue Brûle Maison
59000 LILLE
Tél : +33 6 23 42 45 23
www.mesenseignes.fr/ecologic

Securité incendie :

2 SI CONSEIL
73 Boulevard Montebello, 59000
LILLE
Tél : +06 44 25 69 66
www.2si-conseil.com

A	Première diffusion - PRO/DCE 21/08/2023	**J**	
B	DCE 20/09/2023	**K**	
C	DCE 19/10/2023	**L**	
D		**M**	
E		**N**	
F		**O**	
G		**P**	
H		**Q**	
I		**R**	

Etude thermique	**PHASE** DCE		
	ECHELLE Ø		
	DES. JBB	**VAL.** JBB	

Date d'impression : 19/10/2023

Sommaire

1 PRÉAMBULE 3
1.1 Objet du document 3
1.2 Objectifs environnementaux 3
1.3 Respect du calcul thermique 3
1.4 Données générales du site 4
1.5 Modélisation thermique 4
1.5.1 Logiciel 4
1.5.2 Limites des outils de simulations 4
1.5.3 Règlementation Thermique applicable 4
2 TRAITEMENT DE L'ENVELOPPE 5
2.1 Catalogue des parois 5
2.2 Catalogue des menuiseries 10
2.3 Traitement des ponts thermiques couramment rencontrés en ITI 11
2.4 Catalogue des ponts thermiques 12
2.5 Repérage des parois 14
2.6 Repérage des ponts thermiques 18
2.7 Perméabilité à l'air de l'enveloppe 19
2.7.1 Etanchéité à l'air 19
2.7.2 Exigence 19
2.7.3 Continuité de l'isolation 19
2.7.4 Gestion de l'humidité 19
3 EQUIPEMENTS ENERGETIQUES 20
3.1 Chauffage 20
3.2 Ventilation / Traitement d'air 20
3.3 Production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) 21
3.4 Eclairage artificiel 21
3.5 Photovoltaïque 21
4 SIMULATIONS THERMIQUES DYNAMIQUES (STD) 22
4.1 Définition 22
4.1.1 Simulation Thermique Dynamique 22
4.1.2 Notion de température opérative 22
4.1.3 Définition du confort estival 22
4.2 Objectifs 22
4.3 Outil de simulation 22
4.4 Limites des outils de simulation 23
4.5 Hypothèses et base de calcul 23
4.5.1 Occultation 23
4.5.2 Scénarios 23
4.6 Résultats et analyse 24
5 SIMULATIONS ENERGETIQUES DYNAMIQUES (SED) 25
5.1 Définition 25
5.2 Objectifs 25
5.3 Hypothèses et base de calcul 25
5.3.1 Fichier météo 25
5.3.2 Occupation 26
5.3.3 Eclairage 27
5.3.4 Apports informatiques 27
5.3.5 Chauffage 29
5.3.6 Auxiliaires hydrauliques 29
5.3.7 Eau Chaude Sanitaire 29

5.3.8 Ventilation et Infiltrations 29
5.3.9 Photovoltaïques 30
5.3.10 Scénarios 30
5.4 Résultats et analyse 30

6 ANNEXE 1 : DETAILS DES GARDE-FOUS DE LA REGLEMENTATION RT ELEMENT PAR ELEMENT 31

1 PRÉAMBULE

1.1 Objet du document

Le présent document a pour objectif d'expliciter les performances thermiques du projet **Réhabilitation lourde du 23 rue Inkermann à Lille**.

Pour mémoire, l'article 4 de la loi Grenelle 1, la RT 2012 a pour objectif de limiter la consommation d'énergie primaire des bâtiments neufs à un maximum de 50 kWhEP/(m².an) en moyenne.

Ce dispositif est essentiellement basé sur **trois exigences de résultat** : Les besoins bioclimatiques (Bbio), les consommations en énergie primaire (Cep) et le confort d'été (Tic).

Les besoins bioclimatiques valorisent le niveau d'isolation d'un bâtiment. Ce coefficient traduit le besoin en énergie pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage artificiel. La performance thermique de l'enveloppe est comparée avec une valeur de référence et le permis de construire est validé uniquement si Bbio projet< Bbio max RT2012.

Le Cep représente les consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et d'auxiliaires (pompes et ventilateurs). La valeur du Cep max s'élève à 50 kWh par m² d'énergie primaire par an, modulé selon la localisation, l'altitude et le type d'usage du bâtiment. L'attestation de fin de chantier est validée si Cep projet < Cep max RT2012.

Le Tic est un coefficient de confort d'été imposant une température intérieure inférieure à une valeur de référence au cours des 5 jours les plus chauds de l'année. L'attestation de fin de chantier est validée si Tic projet < Tic ref RT2012.

La présente modélisation est réalisée à l'aide du logiciel Pleiades avec le moteur de calcul Th-BCE 8.1.0.0.

Les calculs présentés dans la suite du document ont été établis sur les plans architectes du **24/07/23**.

1.2 Objectifs environnementaux

Le projet vise les objectifs environnementaux suivants :

- **Décret bâtiment tertiaire 2050 – Cabs = 65.64 kWh/m².an**
- **RT existant élément par élément**

1.3 Respect du calcul thermique

L'ensemble des entreprises intervenant sur le chantier devra se conformer au présent document, joint au dossier de consultation.

Il est de la responsabilité de chaque entreprise de prendre connaissance de ces éléments et de mettre en place l'organisation technique, financière et humaine pour répondre aux exigences.

Toute demande de modification, faite par une entreprise, ayant des impacts sur le calcul réglementaire ou sur le confort hygrothermique pourra être réalisée par le bureau d'études OVERDRIVE aux frais de l'entreprise demandant la modification.

Il est rappelé aux entreprises que le comportement hygrothermique du bâti est influencé par l'ensemble des caractéristiques intrinsèques à la nature des matériaux tels que la perméabilité à la vapeur d'eau, la diffusivité ou encore l'effusivité. La nature des matériaux préconisés dans la note ci-dessous doit donc être impérativement respectée ou faire l'objet d'études complémentaires visé au paragraphe ci-dessus.

1.4 Données générales du site

DONNÉES GÉNÉRALES	
Type de travaux	Réhabilitation
Type de bâtiment	Bâtiment de bureaux
Site	Lille
Zone Climatique RT2012	H1a
Altitude	20 m
Classe d'exposition au bruit	BR1

1.5 Modélisation thermique

1.5.1 Logiciel

L'étude a été réalisée à l'aide du logiciel Pléiades + Comfie (version 5.19.0.0), édité par IZUBA, agrée par le CSTB et validé par comparaison sur des bancs d'essais et expérimentalement avec des cellules test. Il s'appuie sur un modèle aux différences finies multizone réduit par analyse modale avec un pas compris entre 6 min et 30 min.

1.5.2 Limites des outils de simulations

Il est important de noter que l'ensemble des résultats de consommations et de confort présentés dans ce rapport ont ainsi nécessité l'établissement d'un certain nombre d'hypothèses (conditions de fonctionnement du site, horaires de présence, profils d'occupation) et sont basées en particulier sur des données climatiques locales typiques (température, ensoleillement, vent) issues de statistiques observées mais non représentatives du climat d'une année en particulier.

Ces paramètres ne peuvent être parfaitement maîtrisés à l'avance, et peuvent varier tout au long de la durée de vie du bâtiment. Les résultats du présent rapport ne peuvent donc être considérés comme des prévisions réelles du bâtiment.

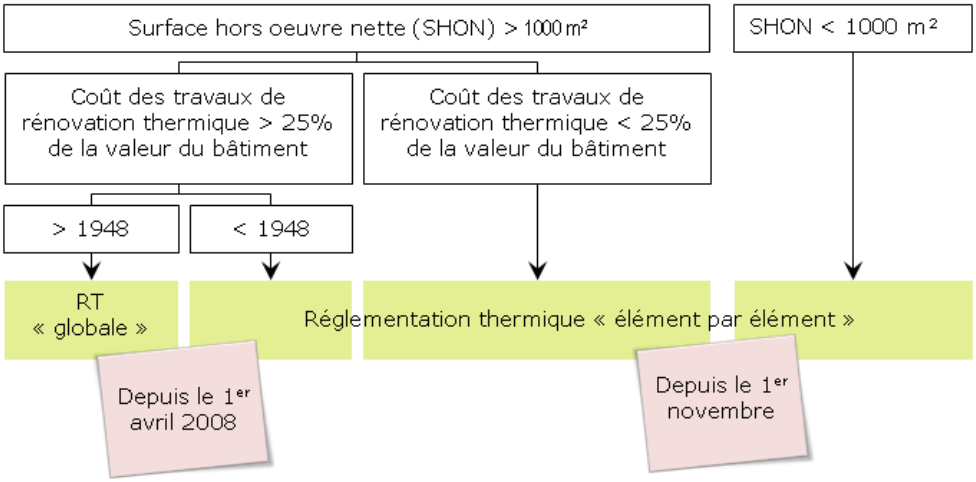
1.5.3 Règlementation Thermique applicable

Le bâtiment situé au 23 rue Inkermann est un bâtiment existant construit sur plusieurs époques avec une partie très ancienne donnant sur la rue. Le bâtiment a ensuite fait l'objet d'une extension à l'arrière. Nous n'avons pas les informations de construction de ces 2 parties mais nous partirons du postulat que la partie sur rue a été construite avant 1948 et que la seconde après 1948. Le projet de réhabilitation lourde du bâtiment est basé sur une surface plancher d'environ 900 m² (donnée issue du document « *F2210_230301_PROJET_PLAN_SURFACES* »).

Le projet est soumis à la règlementation des bâtiments existants qui est divisé en 2 cadres règlementaires :

- La Règlementation Thermique Globale
- La Règlementation Thermique élément par élément.

Ci-après les modalités d'application des 2 cadres règlementaires suivant le projet de rénovation.



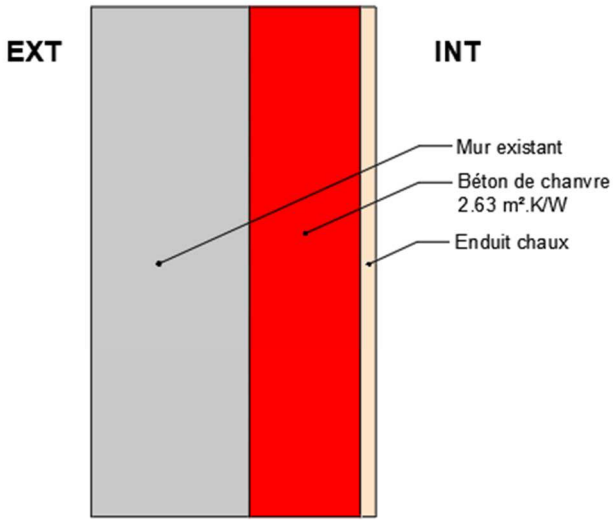
Le bâtiment faisant moins de 1000 m², la règlementation à appliquer est la **RT élément par élément.**

En cas d'installation ou de remplacement d'un élément du bâtiment (pose d'une isolation ou d'une fenêtre, changement de chaudière), la réglementation définit une performance minimale pour l'élément remplacé ou installé. Ces valeurs minimales, dites « garde-fous » sont explicitées en annexe 1 du présent document.

2 TRAITEMENT DE L'ENVELOPPE

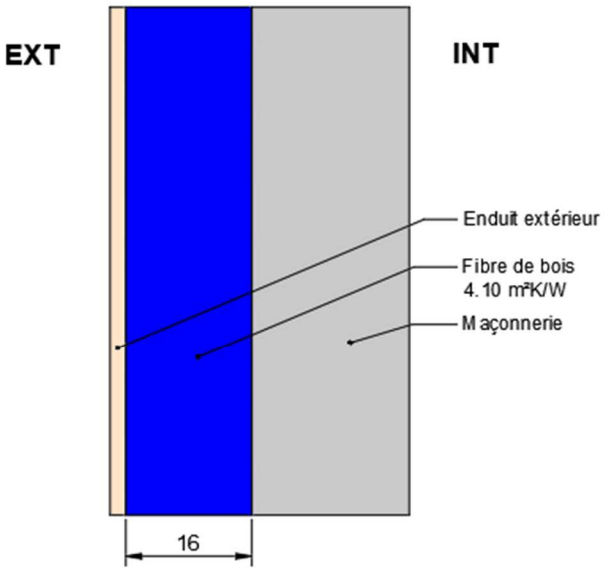
2.1 Catalogue des parois

Code	Désignation	R paroi
ME1	Mur extérieur ITI béton de chanvre	2.64 m².K/W



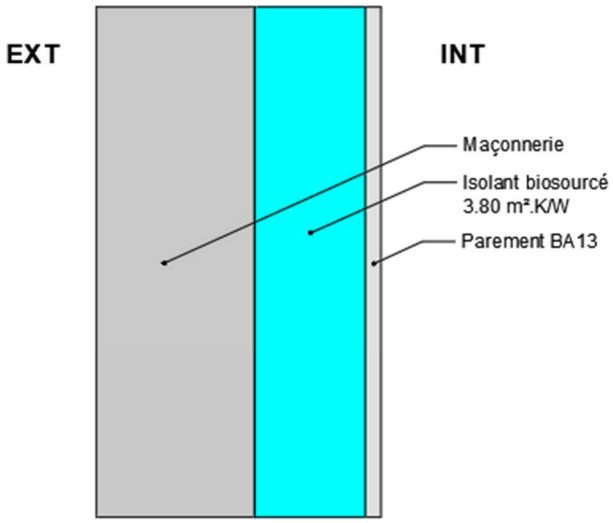
Code	Matériaux	Ep	Résistance thermique
ME1	Mur existant	-	-
	Béton de chanvre	20 cm	2.63 m².K/W
	Enduit chaux	1 cm	0.01 m².K/W
		TOTAL	2.64 m².K/W

Code	Désignation	R paroi
ME2	Mur extérieur ITE	4.26 m².K/W



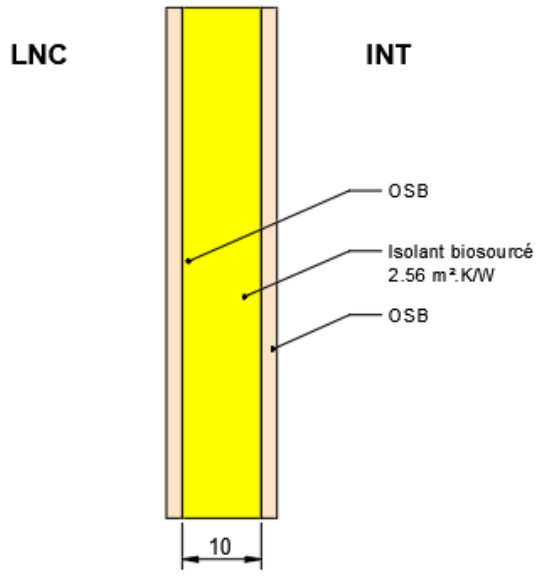
Code	Matériaux	Ep	Résistance thermique
ME2	Enduit chaux	1 cm	0.01 m².K/W
	Fibre de bois	16 cm	4.10 m².K/W
	Maçonnerie	20 cm	0.10 m².K/W
		TOTAL	4.26 m².K/W

Code	Désignation	R paroi
ME3	Mur extérieur ITI laine biosourcé	3.94 m².K/W



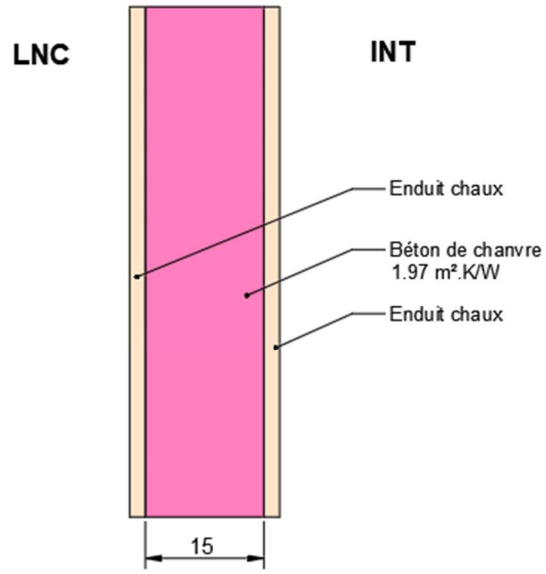
Code	Matériaux	Ep	Résistance thermique
ME3	Maçonnerie	38 cm	0.10 m².K/W
	Isolant biosourcé	14 cm	3.80 m².K/W
	Parement BA13	1.3 cm	0.04 m².K/W
		TOTAL	3.94 m².K/W

Code	Désignation	R paroi
CL1	Cloison laine biosourcé sur LNC	2.64 m².K/W



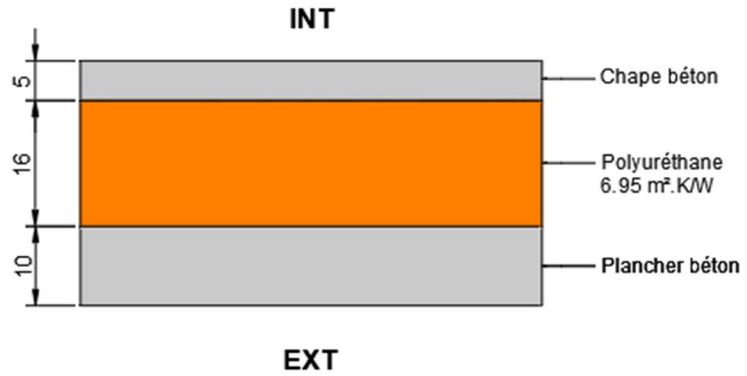
Code	Matériaux	Ep	Résistance thermique
CL1	OSB	2.0 cm	0.04 m².K/W
	Isolant biosourcé	10 cm	2.56 m².K/W
	OSB	2.0 cm	0.04 m².K/W
		TOTAL	2.64 m².K/W

Code	Désignation	R paroi
CL2	Cloison béton de chanvre sur LNC	1.99 m².K/W



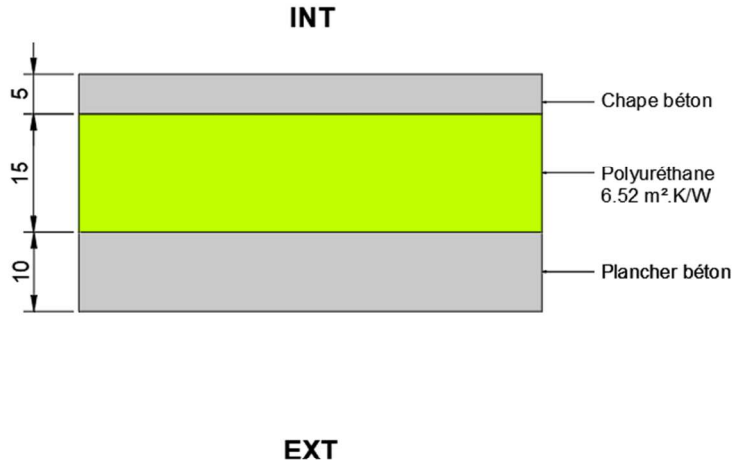
Code	Matériaux	Ep	Résistance thermique
CL2	Enduit chaux	1 cm	0.01 m².K/W
	Béton de chanvre	10 cm	1.97 m².K/W
	Enduit chaux	1 cm	0.01 m².K/W
		TOTAL	1.99 m².K/W

Code	Désignation	R paroi
PB1	Plancher bas file 4 à 12	7.05 m².K/W



Code	Matériaux	Ep	Résistance thermique
PB1	Chape	5 cm	0.05 m².K/W
	Polystyrène expansé	16 cm	6.95 m².K/W
	Béton	10 cm	0.05 m².K/W
		TOTAL	7.05 m².K/W

Code	Désignation	R paroi
PB2	Plancher bas file 2 à 4	6.62 m².K/W



Code	Matériaux	Ep	Résistance thermique
PB2	Chape	5 cm	0.05 m².K/W
	Polystyrène expansé	15 cm	6.52 m².K/W
	Béton	10 cm	0.05 m².K/W
		TOTAL	6.62 m².K/W

Code	Désignation	R paroi
PB3	Plancher bas sur sous-sol	4.15 m².K/W

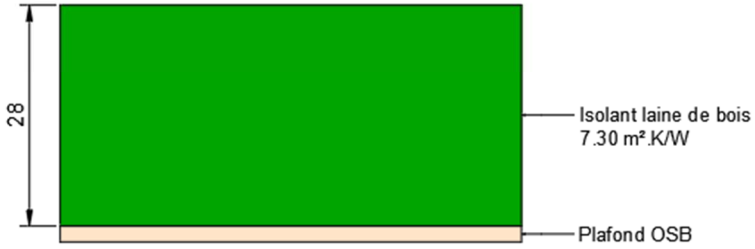
INT

SOUS-SOL

Code	Matériaux	Ep	Résistance thermique
PB3	Béton	20 cm	0.10 m².K/W
	Flocage CF	14 cm	4.05 m².K/W
		TOTAL	**4.15 m².K/W**

Code	Désignation	R paroi
PH1	Toiture combles	7.34 m².K/W

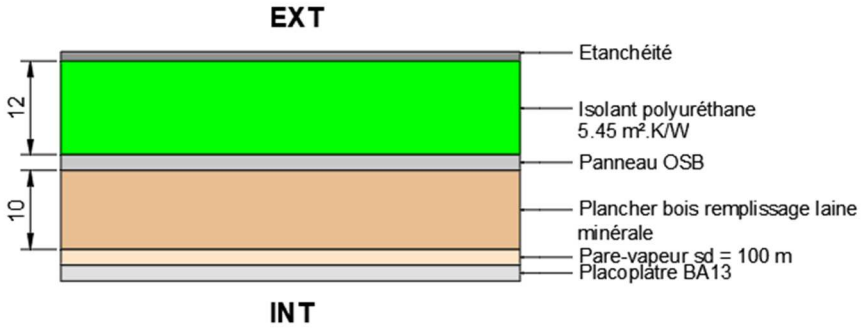
Combles



INT

Code	Matériaux	Ep	Résistance thermique
PH1	Isolant laine de bois	28 cm	7.30 m².K/W
	Plafond OSB	1.3 cm	0.04 m².K/W
		TOTAL	**7.34 m².K/W**

Code	Désignation	R paroi
PH2	Toiture terrasse non accessible	8.17 m².K/W



Code	Matériaux	Ep	Résistance thermique
PH2	Etanchéité	-	-
	Panneau OSB	1.3 cm	0.08 m².K/W
	Isolant polyuréthane	12 cm	5.45 m².K/W
	Remplissage laine min.	10 cm	2.60 m².K/W
	Pare-vapeu sd=100m	-	-
	Parement BA13	1.3 cm	0.04 m².K/W
		TOTAL	8.17 m².K/W

2.2 Catalogue des menuiseries

Code	Nomenclature	GLOBAL		
		Uw	Tlw	Sw
F1	Chassis vitré bois	1.50 W/m².K	0.60	0.42
		Uws	Tlws	Sws
	sans protection solaire :	1.50 W/m².K	0.60	0.42

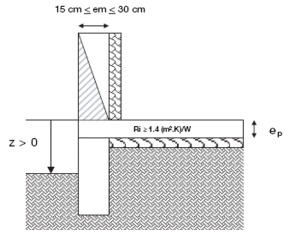
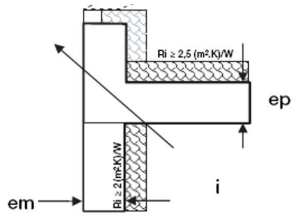
Code	Nomenclature	GLOBAL		
		Uw	Tlw	Sw
F2	Chassis vitré bois Prép' Agreg.	1.50 W/m².K	0.60	0.42
		Uws	Tlws	Sws
	avec protection solaire (extérieure) :	1.50 W/m².K	0.00	0.10

Code	Nomenclature	GLOBAL		
		Uw	Tlw	Sw
F3	Chassis vitré bois Salles Modulaires	1.50 W/m².K	0.60	0.42
		Uws	Tlws	Sws
	avec protection solaire (intérieure) :	1.50 W/m².K	0.00	0.15

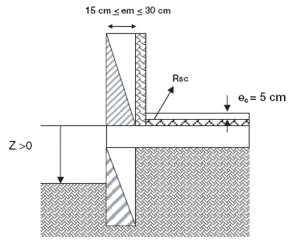
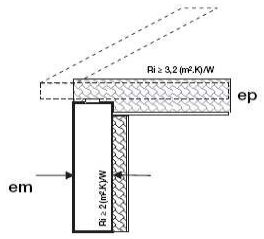
Code	Cadre	
	Matériau	Uf
P1	Bois	1.50 W/m².K

2.3 Traitement des ponts thermiques couramment rencontrés en ITI

Le parti pris d'une isolation thermique par l'intérieur (ITI) implique un nombre conséquent de faiblesses thermiques importantes et néfastes pour la pérennité notamment aux jonctions des différents planchers dont les principaux sont listés ci-dessous :

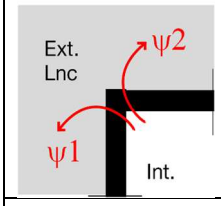
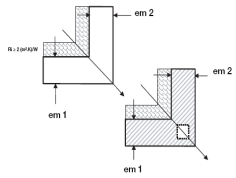
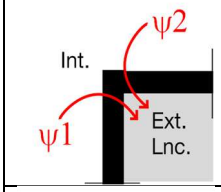
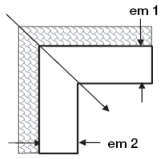
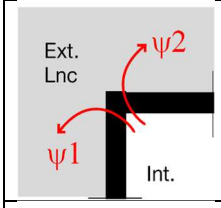
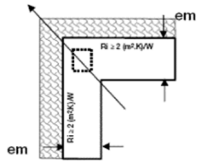
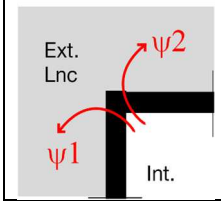
Localisation	Jonction plancher bas - mur	Jonction plancher haut - mur
Illustration du pont thermique		
Valeur du pont thermique Ψ [W/(m.K)]	0.63	0.84

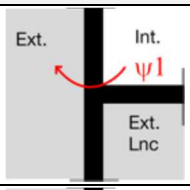
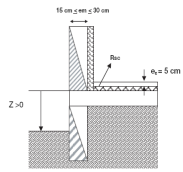
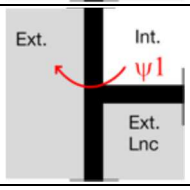
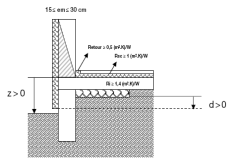
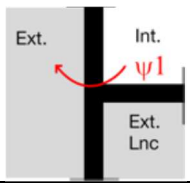
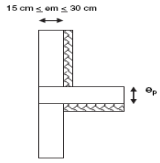
Afin de lutter contre ces fragilités, sources de surconsommations énergétiques et de moisissures, il est impératif de mettre en place des dispositifs efficients tels que :

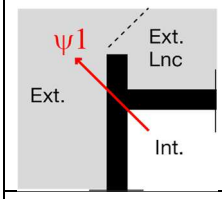
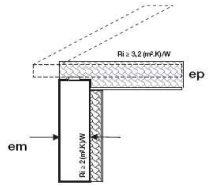
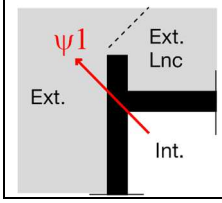
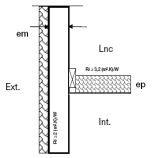
Localisation	Jonction plancher bas - mur	Jonction plancher haut - mur
Nature du traitement	Isolation sous chape*	Continuité d'isolant mur/toiture
Illustration du traitement du pont thermique		
Valeur du pont thermique Ψ [W/(m.K)]	0.07	0.05
Atténuation	90%	94%

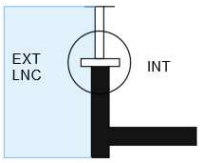
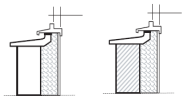
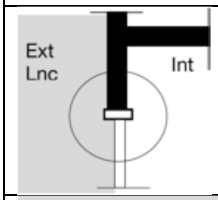
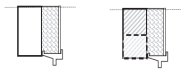
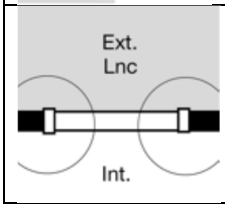
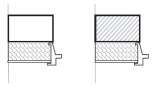
* Dans le cas d'une impossibilité de réaliser une isolation sous chape, il sera nécessaire d'isoler les parties verticales des longrines du plancher bas pour limiter le pont thermique.

2.4 Catalogue des ponts thermiques

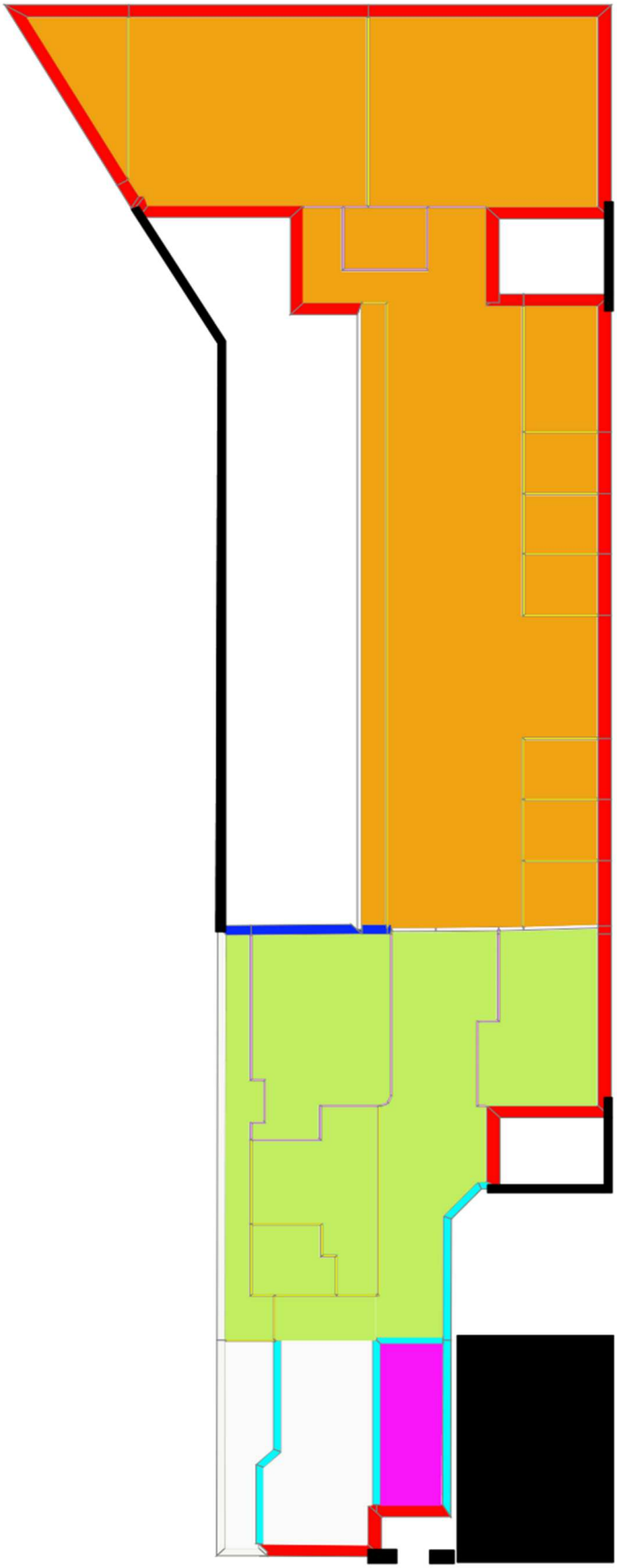
Liaisons entre parois		Repérage	Ψ [W/(m.K)]	Ψ1 [W/(m.K)]	Ψ2 [W/(m.K)]	Illustrations
	Angle sortant ITI		0.02	0.01	0.01	
	Angle rentrant		0.14	0.07	0.07	
	Angle sortant ITE		0.15	0.08	0.08	
	Angle sortant ITI/ITE		0.62	0.31	0.31	

Liaisons entre murs et plancher bas		Repérage	Ψ [W/(m.K)]	Ψ1 [W/(m.K)]	Ψ2 [W/(m.K)]	Illustrations
	Liaison plancher bas RDC - mur extérieur ITI		0.08	0.08	-	
	Liaison plancher bas RDC - mur extérieur ITE		0.29	0.29	-	
	Liaison plancher bas R+1 sur LNC – murs béton		0.70	0.70	-	

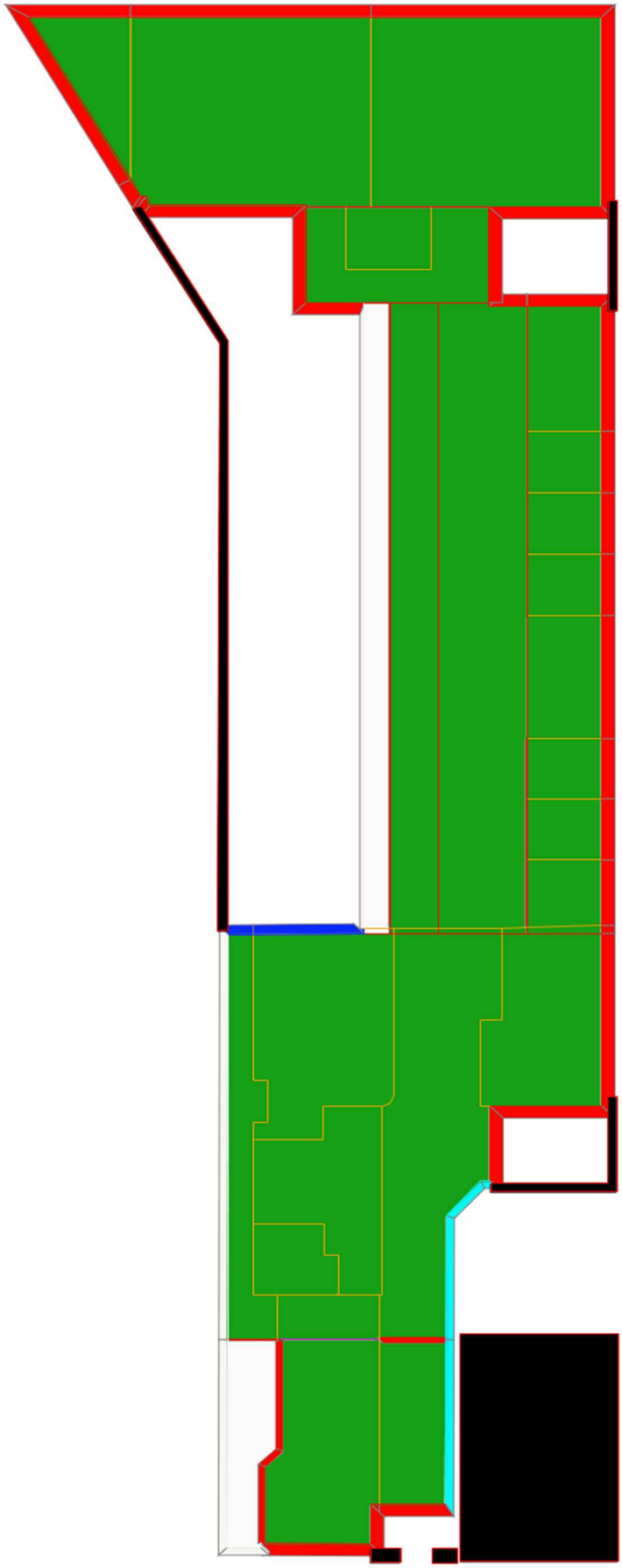
Liaisons avec plancher haut	Repérage	Ψ [W/(m.K)]	Ψ1 [W/(m.K)]	Ψ2 [W/(m.K)]	Illustrations
 Plancher haut rampant		0.05	0.05	-	
 Plancher haut mur pignon béton		0.58	0.58	-	

Liaisons avec des menuiseries	Ψ [W/(m.K)]	Ψ1 [W/(m.K)]	Ψ2 [W/(m.K)]	Illustrations
 Appui menuiserie	0.11	0.11	-	
 Linteau menuiserie	0.00	-	-	
 Tableau menuiserie	0.00	-	-	

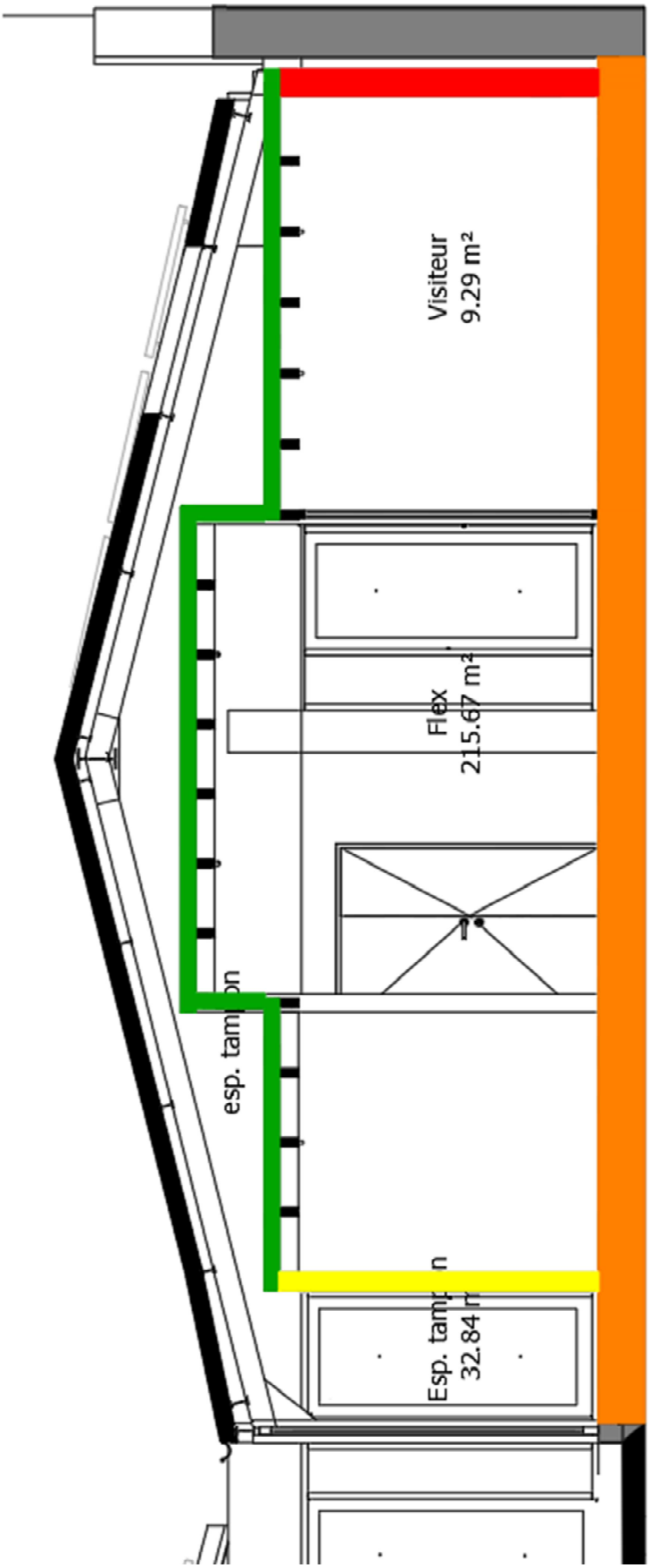
2.5 Repérage des parois



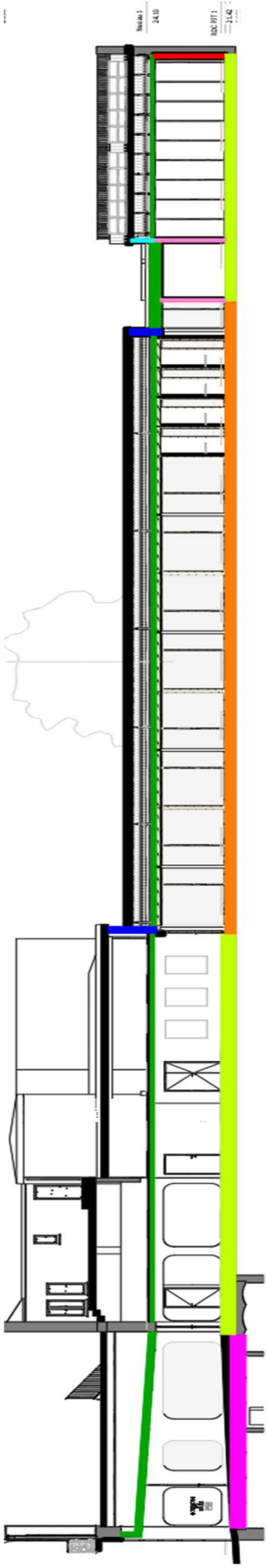
Repérage des parois niveau RDC



Repérage des parois niveau Toiture

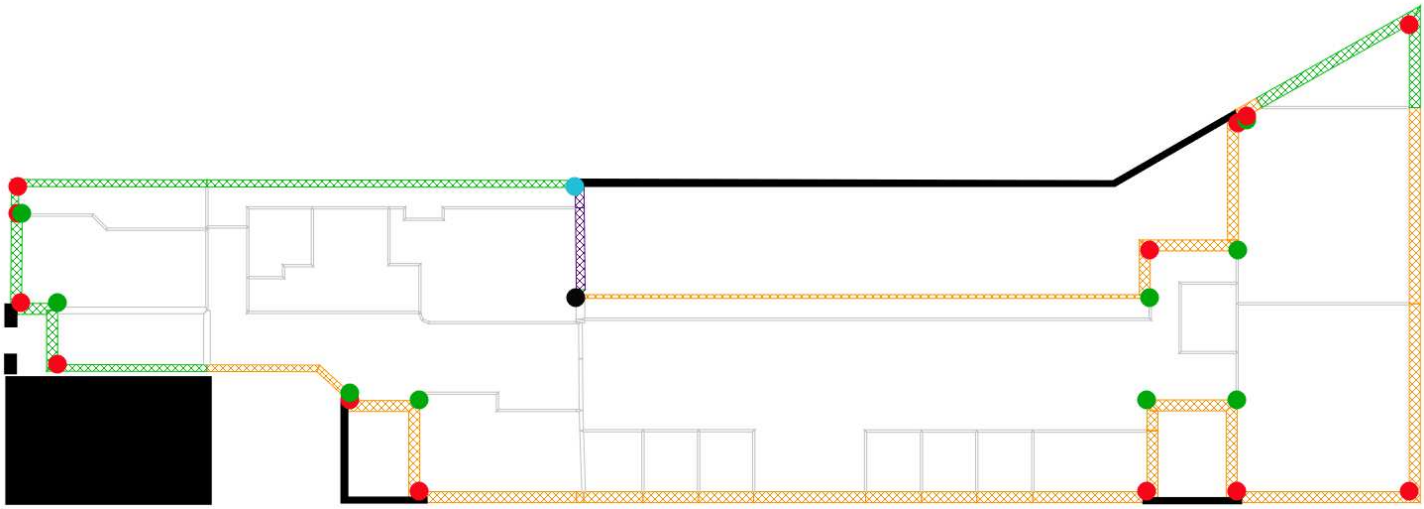


Repérage en coupe transversale des parois du bâtiment

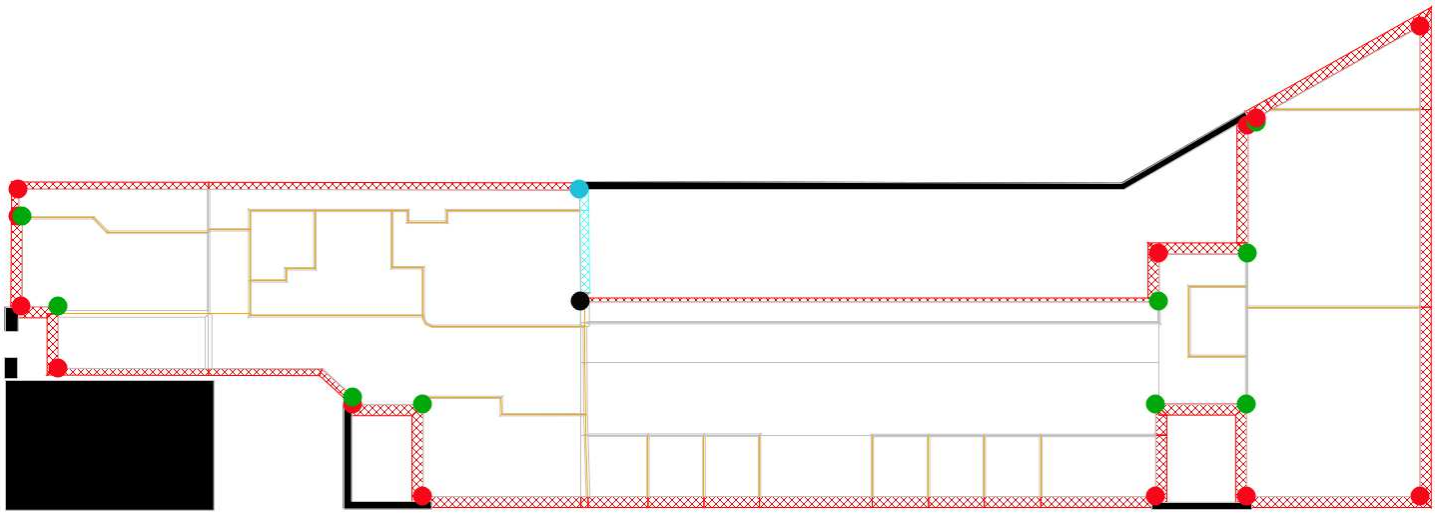


Repérage en coupe longitudinale des parois du bâtiment

2.6 Repérage des ponts thermiques



Plancher Bas - niveau RDC



Plancher Haut - niveau RDC

2.7 Perméabilité à l'air de l'enveloppe

2.7.1 Etanchéité à l'air

Les infiltrations d'air dégradent non seulement le confort et les consommations énergétiques en permettant un échange thermique entre l'intérieur et l'extérieur, mais menacent aussi la pérennité du bâti en augmentant le risque de condensation à l'intérieur des parois. Si l'étanchéité est mauvaise, en hiver l'air chaud intérieur sera évacué en partie à travers les parois, et plus il se rapproche de l'extérieur, plus il se refroidit. Or en se refroidissant la fraction vapeur de l'air peut condenser à l'intérieur de la paroi et provoquer son pourrissement. C'est pourquoi on se doit de garantir une bonne étanchéité à l'air.

2.7.2 Exigence

La perméabilité à l'air du bâti devra être inférieure à **1,7 $m^3/h.m^2$.** Cette valeur devra obligatoirement être justifiées par un test d'étanchéité à l'air à minima en fin de projet.

Nous conseillons vivement de faire réaliser un, voire deux tests en cours de chantier afin de pouvoir facilement intervenir sur les défauts identifiés. : Une fois le clos/couvert réalisé (après l'intégration de la majorité des réseaux mais avant la mise en place des finitions intérieures).

2.7.3 Continuité de l'isolation

Afin d'éviter des ponts thermiques trop importants et garantir une coupure thermique, on veillera à assurer une continuité de l'isolation autant que possible. C'est-à-dire que chaque paroi extérieure bénéficiera d'une couche d'isolant, y compris aux interfaces et points singuliers.

2.7.4 Gestion de l'humidité

L'accumulation d'humidité dans certains isolants thermiques peut entraîner une baisse importante de leur performance, entraînant ainsi des coûts énergétiques plus élevés que prévus, mais aussi une usure prématurée des parois par développements de moisissures et champignons. La gestion de l'humidité est donc primordiale pour la pérennité du bâti et du maintien des performances énergétiques.

Une source importante d'humidité non contrôlée est celle qui provient du sol et traverse les dalles et murs enterrés par des ouvertures des fondations, des microfissures, ou encore par capillarité à travers les pores des matériaux et par diffusion de vapeur d'eau présente dans le sol.

Afin de garder une peau perspirante, c'est-à-dire perméables à la vapeur d'eau, nous recommandons l'utilisation d'un frein vapeur hygrovariable côté intérieur pour toutes les parois avec un isolant biosourcé excepté celles avec du béton de chanvre.

3 EQUIPEMENTS ENERGETIQUES

3.1 Chauffage

Le chauffage de l'ensemble du projet sera issu du réseau de chaleur géré par le concessionnaire RESONOR, par l'intermédiaire d'une sous-station placée au sous-sol du bâtiment.
La sous-station est conçue avec 2 départs secondaires :

- Un circuit à haute température avec une loi d'eau pour la batterie à eau chaude de la CTA, les radiateurs et les panneaux rayonnants,
- Un circuit à basse température avec une loi d'eau pour le plancher chauffant.

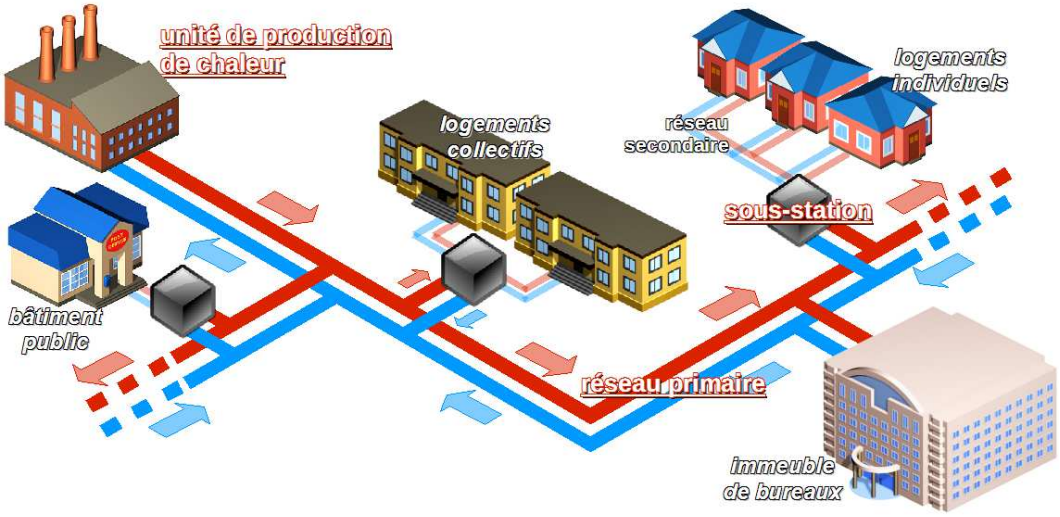


Schéma de principe d'un réseau de chaleur urbain

La distribution calorifique sera calorifugée avec un isolant permettant d'atteindre une classe ≥ 3.

Les émetteurs de chaleur seront de 3 types différents :

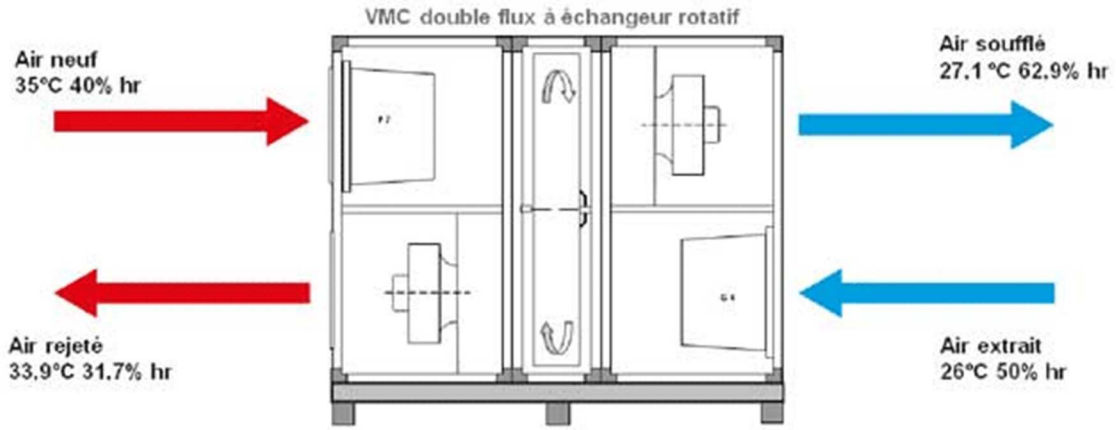
- Panneaux rayonnants dans le flex office et les salles Modul avec une variation temporelle ≤ 2.0 ;
- Plancher chauffant basse température dans le flex office avec une variation temporelle ≤ 2.0 ;
- Radiateurs dans les autres locaux avec une variation temporelle ≤ 0.20.

3.2 Ventilation / Traitement d'air

Le traitement de l'air des bureaux sera assuré par une CTA dans un local technique.

La CTA sera munie d'un échangeur à plaques ou rotatif et d'une batterie à eau chaude permettant de préchauffer l'air soufflé à 23°C.

La performance de l'étanchéité des réseaux aérauliques est prévu de classe B. Ce niveau de performance devra être justifié par des tests d'étanchéité par l'entreprise titulaire du lot CVC.



3.3 Production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS)

En accord avec la MOA, il n'est pas prévu d'Eau Chaude Sanitaire pour les sanitaires du bâtiment. Il est toutefois prévu un chauffe-eau électrique accumulé de 80 litres pour le local ménage avec une résistance électrique de 2.25 kW. L'ensemble de la robinetterie devra être de type mitigeur thermostatique.

3.4 Eclairage artificiel

L'ensemble de l'éclairage des locaux rénovés devront être de type LED avec un maximum de 2W/m²/100Lux.
Dans le cas des bureaux, flex office et salle de réunion, l'ensemble de ces espaces devront être à gradation automatique et extinction automatique.

3.5 Photovoltaïque

Afin d'atteindre le niveau de performance énergétique demandée, il est prévu la mise en place de panneaux photovoltaïques en autoconsommation pour une production annuelle de 14 855 kWh.

4 SIMULATIONS THERMIQUES DYNAMIQUES (STD)

4.1 Définition

4.1.1 Simulation Thermique Dynamique

La simulation thermique dynamique, aussi appelé STD, est une simulation par un outil numérique permettant d'estimer le comportement hygrothermique du bâtiment. En application sur notre projet, elle permet sur la base de scénarii d'utilisation du bâtiment, de simuler la température intérieure et donc de qualifier et de quantifier le confort hygrothermique estival.

4.1.2 Notion de température opérative

Pour les études de confort, on s'intéresse principalement au critère de température opérative (ou température résultante) Top. Cette température correspond à la moyenne pondérée entre la température sèche de l'air ambiant et la température radiante des murs :

Les effets d'inconfort créés par l'asymétrie de températures dues aux rayonnements des parois sont donc pris en compte. Il ne s'agit donc pas de la température de l'air mais de la température réellement ressentie par l'occupant, compris effet des parois du local.

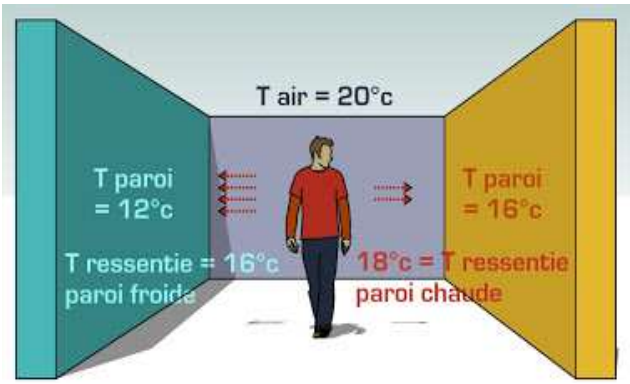
Les études de STD permettent d'obtenir pour toutes les zones la distribution de cette température opérative. Cela permet en particulier d'accéder au nombre d'heures au-dessus de 28°C pour chaque zone.

Ci-contre : image évoquant l'effet d'une paroi froide sur le corps humain.

4.1.3 Définition du confort estival

N'ayant pas de référentiel sur le confort estival lors de la phase Concours, nous partons du postulat d'utiliser le référentiel de la certification « HQE Bâtiment Durable » qui nous semble être une base de comparaison en accord avec la maitrise d'ouvrage pour qualifier le confort d'été. Notre démarche environnementale reprend la notion de confort estival du label auquel nous ajoutons une exigence sur une température seuil maximale ou l'inconfort est sévère et qui est fixée à 30°C :

- Température résultante <28°C ;
- Taux d'inconfort inférieur à 2.0% du temps d'occupation annuel (site en zone H1a) ;
- Température intérieure maximale de 30°C.



4.2 Objectifs

Dans le cadre des études environnementales du projet Sciences Po à Lille, une étude du confort hygrothermique est indispensable car elle permet :

- D'utiliser les outils de simulation afin de prévoir le comportant du futur bâtiment,
- D'assurer le confort dans le bâtiment en toute saison,
- De proposer différentes solutions sur l'enveloppe et sur les équipements afin d'optimiser la dépense énergétique et financière du projet,
- D'apporter au maitre d'ouvrage un outil d'aide à la décision.

L'analyse ci-dessous présente les différentes hypothèses des études menées et les résultats les plus significatifs.

4.3 Outil de simulation

L'étude a été réalisée à l'aide du logiciel Pléiades + Comfie (version 5.22.8.1), édité par IZUBA, agrée par le CSTB et validé par comparaison sur des bancs d'essais et expérimentalement avec des cellules test. Il s'appuie sur un modèle aux différences finies multizone réduit par analyse modale avec un pas compris entre 6 min et 30 min.

4.4 Limites des outils de simulation

Il est important de noter que l'ensemble des résultats de consommations et de confort présentés dans ce rapport ont ainsi nécessité l'établissement d'un certain nombre d'hypothèses (conditions de fonctionnement du site, horaires de présence, profils d'occupation) et sont basées en particulier sur des données climatiques locales typiques (température, ensoleillement, vent) issues de statistiques observées mais non représentatives du climat d'une année en particulier.

Ces paramètres ne peuvent être parfaitement maîtrisés à l'avance, et peuvent varier tout au long de la durée de vie du bâtiment. Les résultats du présent rapport ne peuvent donc être considérés comme des prévisions réelles du bâtiment.

4.5 Hypothèses et base de calcul

Les hypothèses retenues pour effectuer les simulations sont identiques à celles utilisées pour les simulations énergétiques dynamiques, à la différence de la prise en compte des remarques de la Maitrise d'Ouvrage sur le dossier APD (mail de M. Vinchon du 22 juin 2023), à savoir :

- Du lundi au vendredi, de 8h à 18h du 1er septembre au 30 juin avec 2 semaines de coupure à Noël + 1 semaine à Pâques. Si possible faire 2 scénarii : l'un avec Juillet occupé dito occupation quotidienne, l'autre où nous fermerions le bâtiment en Juillet
- 10 journées d'ouverture ponctuelles supplémentaires de 8h à 18h
- Considérer un taux d'occupation/remplissage de 70% des espaces publics / doctorants / flex office / box de travail sur les périodes d'ouverture
- Considérer un taux d'occupation/remplissage de 60% des salles modulaires / espace concours / bureau visiteur sur les périodes d'ouverture

En addition nous avons retravaillé les hypothèses sur l'éclairage avec notre retour d'expérience de bâtiments similaires où nous obtenons en exploitation des valeurs de consommation d'éclairage inférieures à celles simulées en APD.

4.5.1 Occultation

Nous partons du postulat de rideau intérieur occultant pour les espaces modulaires, des stores extérieurs pour la salle Prép' Agreg. La résistance thermique de l'ajout de ces occultations est considérée comme négligeable.

4.5.2 Scénarios

La modélisation de base prend en compte l'utilisation de protections solaires intérieures mobiles lorsque la température intérieure dépasse 24°C sur les espaces donnant directement sur l'extérieur (Hall, Espace de convivialité, Salle 8p, Modul 1, Modul 2, salle 30p, Flex Office sur patio et Espace tampon côté jardin). En base la simulation prend également en compte une ventilation nocturne réalisée par la ventilation mécanique pour décharger les calories stockées dans les masses inertielles du bâti, de 22h à 7h du matin.

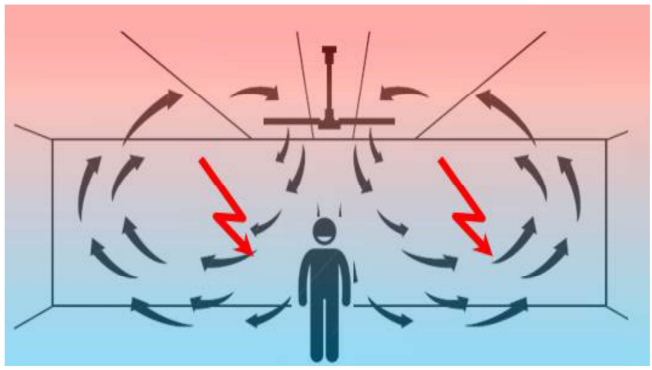
En variante n°1 : nous remplaçons l'isolant en laine de coton/lin/chanvre en toiture par un isolant en laine de bois à plus forte densité et présentant un déphasage thermique plus important.

NOTA : Suite au RICT du bureau de contrôle, un avis défavorable a été émis sur le complexe en toiture avec isolant biosourcé. Afin de se mettre en conformité avec la réglementation incendie dans les établissements ERP, nous avons remplacé la laine de bois haute densité par de la laine minérale faible densité mais à forte résistance thermique.

En variante n°1 sans apports solaires : nous supprimons artificiellement les apports solaires pour connaitre la part d'inconfort dû aux apports internes.

En variante n°2 : Nous ajoutons des brasseurs d'air dans les locaux présentant de l'inconfort dans la « variante n°1 sans apports solaires ».

En effet, pour les locaux non rafraichit ou à forte charge interne, si la stratégie de confort passif ne suffit pas à maintenir une température acceptable en mi-saison et période estivale, avant le recours à un système de rafraichissement actif, il peut être mis en des brasseurs d'air plafonniers. Ils permettent en effet **de ressentir une température diminuée de 3°C** pour une **vitesse de l'air de 1m/s. De plus, en période hivernale,** ils permettent de dé-stratifier l'air, réduisant de fait les consommations de chauffage. Ainsi la mise en œuvre de système de rafraichissement actif sera limitée aux locaux les plus défavorisés en termes de charge interne.



En variante n°3 : Variante n°1 + simulation avec une fermeture au mois de juillet du bâtiment, en plus du mois d'août.

Vitesse de l'air [m/s]	Refroidissement équivalent [°C]
0,1	0
0,3	1
0,7	2
1,0	3
1,6	4
2,2	5
3,0	6
4,5	7
6,5	8

Valeurs extraites du Guide pratique de ventilation - Woods, valables pour des conditions moyennes d'humidité et d'habillement, en conditions estivales

4.6 Résultats et analyse

Les résultats des simulations thermiques dynamiques sont présentés ci-dessous avec en rouge les valeurs n'atteignant pas les objectifs de confort estival et inversement pour les résultats en vert.

Nous rappelons que les 3 locaux Espace de Convivialité, Modul 1 et 2 sont des locaux avec une estimation d'occupation tant en nombre de personne, qu'en probabilité d'occupation, qui est défavorable puisque nous sommes partis du postulat que les locaux sont occupés tous les jours de 8h à 18h avec 60% de l'effectif. Les résultats des simulations sont donc à nuancer pour ces 3 locaux.

Désignation	Nb d'heures d'occup.	BASE			Variante 1 laine minérale			Variante 1 sans apports solaires			Variante 2 brasseurs d'air			Variante 3 Fermeture juillet		
		Nb H >28°C	Taux d'inc.	T° max	Nb H >28°C	Taux d'inc.	T° max	Nb H >28°C	Taux d'inc.	T° max	Nb H >28°C	Taux d'inc.	T° max	Nb H >28°C	Taux d'inc.	T° max
Espace de convivialité	2 260 h	21 h	0,9%	31,2 °C	21 h	0,9%	31,2 °C	14 h	0,6%	30,3 °C	8 h	0,4%	28,2 °C	4 h	0,2%	29,7 °C
Hall	2 260 h	0 h	0,0%	25,3 °C	0 h	0,0%	25,1 °C	0 h	0,0%	23,8 °C	0 h	0,0%	25,1 °C	0 h	0,0%	24,6 °C
Salle Prépa Agreg'	2 260 h	1 h	0,0%	30,5 °C	0 h	0,0%	28,0 °C	0 h	0,0%	27,0 °C	0 h	0,0%	25,0 °C	9 h	0,4%	28,5 °C
Salle Doctorants	2 260 h	0 h	0,0%	27,8 °C	0 h	0,0%	27,7 °C	0 h	0,0%	26,4 °C	0 h	0,0%	27,7 °C	0 h	0,0%	25,3 °C
Flex Office 30p	2 260 h	1 h	0,0%	28,3 °C	0 h	0,0%	28,2 °C	0 h	0,0%	25,7 °C	0 h	0,0%	28,2 °C	0 h	0,0%	26,9 °C
Modul 1 50p	2 260 h	20 h	0,9%	31,2 °C	10 h	0,4%	30,3 °C	9 h	0,4%	29,7 °C	0 h	0,0%	27,3 °C	0 h	0,0%	27,7 °C
Modul 2 50p	2 260 h	27 h	1,2%	31,7 °C	14 h	0,6%	30,8 °C	11 h	0,5%	30,1 °C	0 h	0,0%	27,8 °C	2 h	0,1%	28,1 °C
Box 22p	2 260 h	9 h	0,4%	29,4 °C	6 h	0,3%	29,3 °C	0 h	0,0%	27,8 °C	6 h	0,3%	29,3 °C	0 h	0,0%	26,9 °C

Le premier constat que nous pouvons faire c'est que les résultats du scénario de base montrent une conformité de l'ensemble des locaux à l'exigence sur le taux d'inconfort. La non-conformité vient de la température maximale ressentie qui dépasse 30°C dans 4 locaux sans pour autant être trop éloignée de l'objectif.

L'ajout d'un isolant à haute résistance thermique, simulé dans la variante 1, permet une légère diminution du nombre d'heures d'inconfort et de la température maximale intérieure ressentie. Néanmoins cette optimisation ne permet pas une conformité sur une des salles Modul et sur l'espace de convivialité situé à l'entrée du bâtiment.

La variante 1 sans apports solaires est purement théorique car elle ne peut être réalisée physiquement mais elle n'en est pas moins intéressante car elle met en lumière jusqu'où l'effort sur le bâti permet de garantir le confort. D'une part nous pouvons constater que le nombre d'heures d'inconfort baisse légèrement et d'autre part que la température intérieure affiche une baisse comprise entre 0.5°C et 1°C. Ces résultats permettent de montrer que la conception bioclimatique du projet très affinée et qu'un effort supplémentaire peut être fait sur le bâti. Etant donné que les menuiseries sont protégées du soleil de par les ombres du bâtiment lui-même et des bâtiments voisins, l'accent doit donc être mis sur l'isolation en toiture. Cependant cette augmentation d'épaisseur ne peut se faire qu'au détriment des passages des réseaux techniques. Une autre solution que nous pouvons proposer consiste en la mise en place de brasseurs d'air dans les locaux présentant une température ≥ 30°C dans le scénario de base, solution simulée dans la variante n°2.

L'ajout de brasseurs d'air dans les locaux précités permet une suppression des heures au-dessus de 28°C et une nette diminution de la température opérative avec près de 3°C de moins. Cette solution permet donc une forte amélioration du confort des usagers.

La dernière simulation représente une fermeture du bâtiment au mois de juillet, en plus du mois d'août, simulé à partir de la variante n°1 (sans brasseur d'air). Les résultats sont à l'image de la variante avec les brasseurs d'air avec une absence d'inconfort et des températures ressenties inférieures à 30°C.

En synthèse les différentes propositions d'optimisation du projet permettent d'affiner la bioclimatique du projet sur la thématique du confort d'été. Les résultats des simulations montrent que nous atteignons les objectifs fixés au départ (cf. §4.2). La fermeture du bâtiment en juillet et en août (ou sa très faible occupation) permet d'éviter les canicules estivales et d'obtenir ainsi un confort hygrothermique uniquement avec le travail du bâti, sans brasseurs d'air.
La fermeture du bâtiment également au mois de juillet, soit une fermeture de près de 2 mois ne nous parait pas une solution pérenne vis-à-vis de la conception bioclimatique du bâtiment et de son adaptabilité vis-à-vis du changement climatique. Nous recommandons ainsi de partir sur la mise en place de brasseurs d'air dans les locaux à forte occupation. Ce système que l'on pourrait qualifier de rafraichissement passif (s'opposant à un rafraichissement actif qui implique la production de froid) dans les locaux où l'occupation peut être forte et imprévisible tel que l'espace de convivialité, la salle prépa agreg' et les salles modulaires. L'ajout de brasseur d'air permet toutefois un surplus de confort avec un ressenti de près de 3°C de moins.

5 SIMULATIONS ENERGETIQUES DYNAMIQUES (SED)

5.1 Définition

La simulation énergétique dynamique, aussi appelé SED, est une simulation par un outil numérique permettant de calculer les consommations énergétiques annuelles et d'une éventuelle production locale d'énergie.

5.2 Objectifs

L'objectif de consommations énergétiques a été fixé par la MOA à 65.64 kWh/m².an (composante CVC + USE).

NOTA 1 : Conformément à la règlementation, le bâtiment faisant moins de 1000 m², il n'est pas assujetti au décret tertiaire. Toutefois nous réalisons les simulations énergétiques dynamiques avec l'objectif en valeur absolue proposée dans le programme environnemental.

NOTA 2 : le bâtiment étant inexploité depuis plusieurs années et servait pour un autre usage que celui du projet, il n'est pas possible d'appliquer les objectifs relatifs de réduction de consommations d'énergie. Seuls les objectifs en valeur absolue sont utilisables dans notre cas.

5.3 Hypothèses et base de calcul

Les hypothèses explicitées ci-après sont issus des données d'occupation de la RT2012 amélioré de notre expérience d'exploitation des bâtiments de bureaux. Nous invitons la MOA à vérifier ces hypothèses pour les rendre plus en adéquation avec l'utilisation réelle de son bâtiment. C'est un élément central dans notre étude énergétique car il permet de s'approcher au plus près des futures consommations énergétiques.

5.3.1 Fichier météo

Pour simuler le comportement du bâtiment dans les années à venir, nous partons sur un fichier météo incluant les effets du réchauffement climatique suivant le scénario RCP 4.5 du GIEC (devenu le scénario SSP2-4.5 dans le dernier rapport du GIEC) qui correspond à des émissions de gaz à effet de serre intermédiaires qui se traduira par une montée de 1.5°C d'ici à 2040.

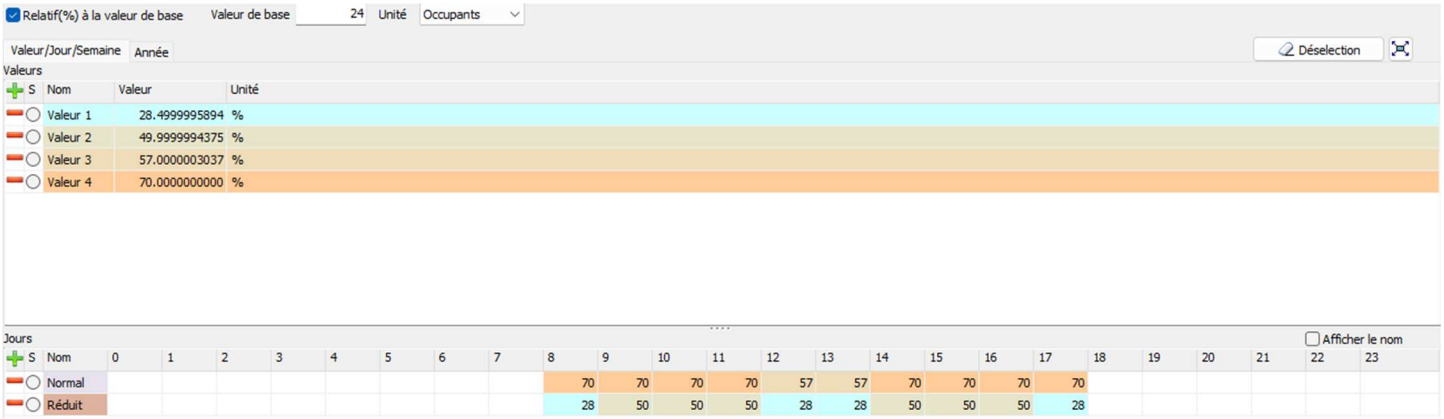
	Court terme : 2021-2040	Moyen terme : 2041-2060	Long terme : 2081-2100
SSP1-1.9	1,5	1,6	1,4
SSP1-2.6	1,5	1,7	1,8
SSP2-4.5	1,5	2,0	2,7
SSP3-7.0	1,5	2,1	3,6
SSP5-8.5	1,6	2,4	4,4

5.3.2 Occupation

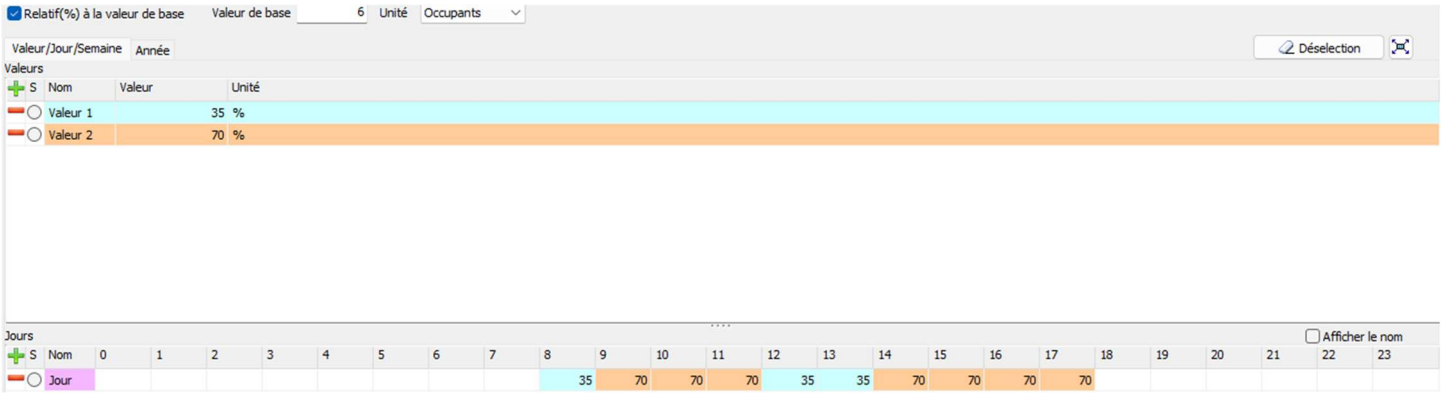
Les hypothèses retenues pour effectuer les simulations tiennent compte des remarques de la Maitrise d'Ouvrage sur le dossier APD (mail de M. Vinchon du 22 juin 2023), à savoir :

- Du lundi au vendredi, de 8h à 18h du 1er septembre au 30 juin avec 2 semaines de coupure à Noël + 1 semaine à Pâques. Si possible faire 2 scénarii : l'un avec Juillet occupé dito occupation quotidienne, l'autre où nous fermerions le bâtiment en Juillet
- 10 journées d'ouverture ponctuelles supplémentaires de 8h à 18h
- Considérer un taux d'occupation/remplissage de 70% des espaces publics / doctorants / flex office / box de travail sur les périodes d'ouverture
- Considérer un taux d'occupation/remplissage de 60% des salles modulaires / espace concours / bureau visiteur sur les périodes d'ouverture

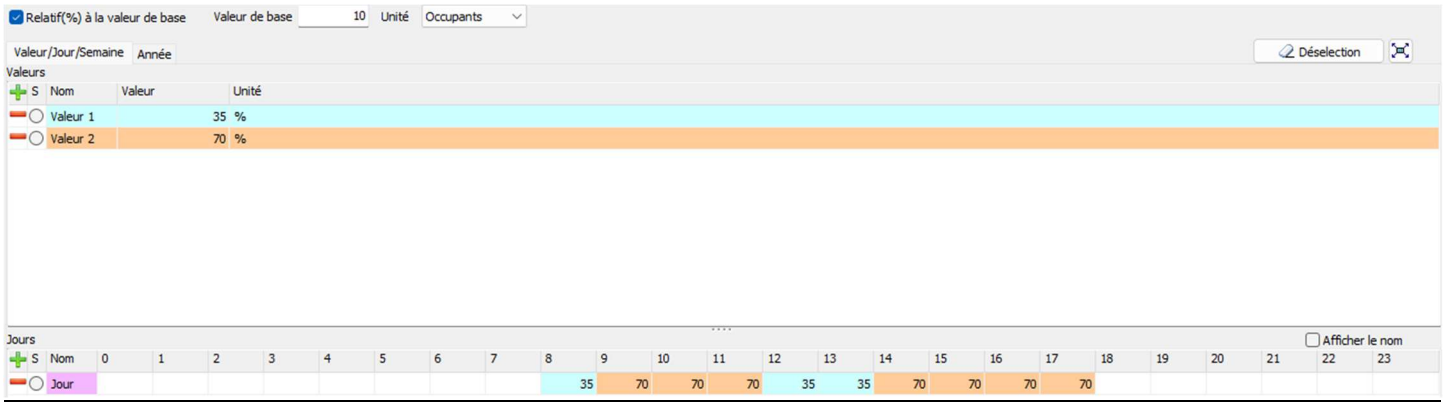
D'un point de vue des apports de chaleur par les occupants ; nous partons du postulat de : 118 W pour un adulte (sensible + latent).



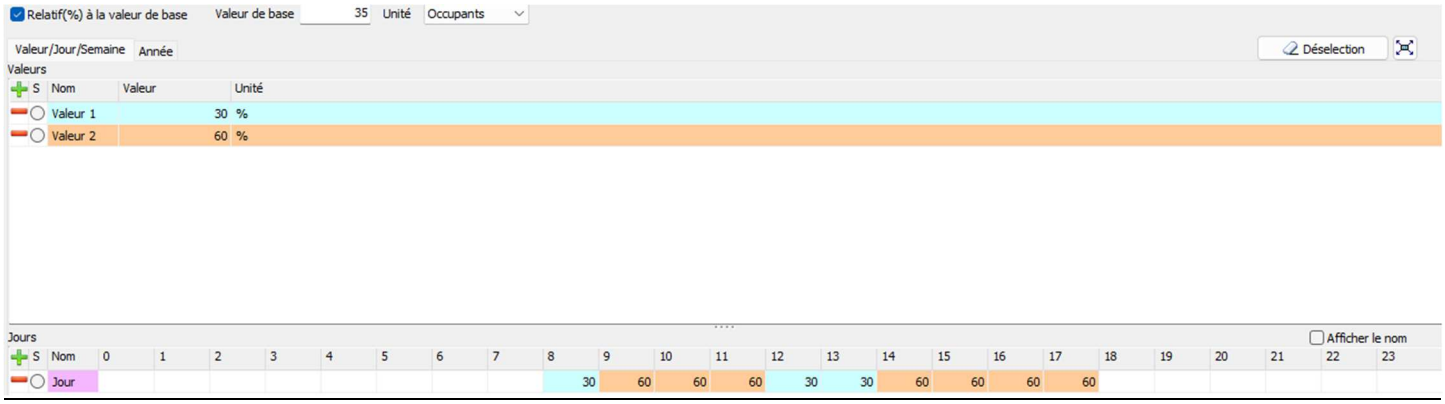
Scénario d'occupation de l'espace Prépa Agreg' et de Flex office



Scénario d'occupation de la salle Doctorants



Scénario d'occupation de l'espace de convivialité



Scénario d'occupation des salles modulaires

5.3.3 Eclairage

En addition nous avons retravaillé les hypothèses sur l'éclairage avec notre retour d'expérience de bâtiments similaires où nous obtenons en exploitation des valeurs de consommations d'éclairage inférieures à celles simulées en APD.

En écho à la notice technique du lot CFO CFA, l'ensemble des luminaires seront à LED. L'éclairage sera piloté par gradation avec extinction automatique dans les locaux étudiés excepté les sanitaires et les circulations. De ce postulat nous pouvons prendre l'hypothèse d'une puissance installée correspondant à 6W/m² dans les salles de réunion et les espaces de bureaux flex office.

5.3.4 Apports informatiques

Nous partons du postulat que les occupants auront chacun un ordinateur de type « PC portable grand format ». Pour estimer les apports par ce matériel, nous prenons la valeur du mode actif qui correspond à une moyenne entre la « pleine charge » et le mode « marche » normal d'un ordinateur.

Type d'ordinateur	Puissance moyenne [W] (ouverture d'une nouvelle fenêtre ! *source Energy Star*)		
	Mode actif	**Mode attente**	**Mode arrêt**
PC portable	15	4	4
PC portable économique	25	11	7
PC portable grand format	35	15	7
Petit serveur	60	15	2
PC économique	100	20	10
PC multimédia	120	20	10
Station de travail	200	40	15

Puissance moyenne dissipée (source Energy Star)

Valeurs

S	Nom	Valeur	Unité
	Valeur	0.537505736	W/m²
	Valeur 1	1.075011472	W/m²
	Valeur 2	2.660680000	W/m²
	Valeur 3	3.110000000	W/m²
	Valeur 4	5.321360000	W/m²
	Valeur 5	9.936950000	W/m²
	Valeur 6	10.198700000	W/m²

Jours — Afficher le nom

S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	WE Normal	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
	Ouvré Normal	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
	Ouvré Vacances	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
	WE Vacances	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54

Scénario de puissance dissipée Flex office

Valeur/Jour/Semaine Année — Déselection

Valeurs

S	Nom	Valeur	Unité
	Valeur	0.537505736	W/m²
	Valeur 1	1.075011472	W/m²
	Valeur 2	2.660680000	W/m²
	Valeur 3	3.110000000	W/m²
	Valeur 4	5.321360000	W/m²
	Valeur 5	9.936950000	W/m²
	Valeur 6	10.198700000	W/m²

Jours — Afficher le nom

S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	WE Normal	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
	Ouvré Normal	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	10.20	10.20	10.20	10.20	5.32	5.32	10.20	10.20	10.20	10.20	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
	Ouvré Vacances	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	5.32	5.32	5.32	5.32	2.66	2.66	5.32	5.32	5.32	5.32	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
	WE Vacances	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54

Scénario de puissance dissipée Prépa Agreg'

Les salles de réunion fonctionnant différemment d'un point de vue des puissances dissipées parce que les occupants ne laissent pas leur ordinateur, ci-dessous le scénario adapté à ces locaux.

Valeur/Jour/Semaine Année — Déselection

Valeurs

S	Nom	Valeur	Unité
	Valeur 1	2.5	W/m²
	Valeur 2	5.0	W/m²

Jours — Afficher le nom

S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	Jour										2.50	5.00	5.00	2.50	2.50	5.00	5.00	5.00							

Scénario de puissance dissipée Salle Doctorants/Salles Modulaires/Espace de convivialité

5.3.5 Chauffage

La consigne de chauffage est fixée à 19°C de 8h à 18h avec un réduit de 3°C la nuit et le week-end. Chaque matin une relance de la température progressive est simulée 2h avant l'arrivée des premiers occupants.

Valeurs

S	Nom	Valeur	Unité
	Réduit	16	°C
	Normal	19	°C
	Valeur	18	°C
	Valeur 1	17	°C

Jours — Afficher le nom

S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	Présence	16	16	16	16	16	16	17	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	16	16	16	16	16	16
	Abscence	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Semaines

Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Semaine	Présence	Présence	Présence	Présence	Présence	Abscence	Abscence

Scénario de chauffage à 19°C

5.3.6 Auxiliaires hydrauliques

Ce poste correspond à la consommation énergétique des pompes de circulation pour la distribution en eau chaude de chauffage.
Nous partons du postulat de circulation basse consommation à pression constante d'une puissance par départ de 200W.

5.3.7 Eau Chaude Sanitaire

Les sanitaires sont dépourvus d'Eau Chaude Sanitaire. Seul le local ménage dispose d'un déversoir relié à un ballon de 80 litres et d'une résistance électrique de 2.25 kW.
Nous partons du postulat de l'utilisation des 80 litres 1 fois par jour pour le ménage des locaux.

5.3.8 Ventilation et Infiltrations

Les débits de ventilation mécanique sont conformes aux débits du tableau des besoins du lot CVC, à savoir :

- 1 CTA double flux à rendement de récupération ≥80% assurant un renouvellement d'air hygiénique de 4590 m3/h. La CTA fonctionne uniquement sur les horaires d'occupation fixée de 8h à 18h ;
- 1 caisson VMC pour le local poubelle pour un débit de 200 m3/h, avec fonctionnement permanent 24h/24h ;
- 1 caisson VMC pour les locaux techniques pour un débit de 460 m3/h avec fonctionnement permanent 24h/24h ;

En adéquation avec le descriptif du lot CVC, une gestion des débits sur sonde CO_2 est prévue dans les salles Modulaires, Espace

Doctorants et Salle Prep' Agreg.

Le débit d'air parasite provenant des infiltration est calculé suivant l'exigence d'une perméabilité à l'air Q4Pa <1.7 $m^3/(h.m^2)$, perméabilité correspondant à la valeur règlementaire pour un bâtiment de bureaux neuf, demandé en objectif final aux entreprises.

5.3.9 Photovoltaïques

La production d'électricité d'origine photovoltaïque correspond à la mise en place d'environ 100 m² de panneaux pour une puissance crête de 20 kWc.

5.3.10 Scénarios

Les 2 scénarios simulés correspondent une occupation du 1er septembre au 31 juillet et le second du 1er septembre au 30 juin.

5.4 Résultats et analyse

Pour rappel des résultats des SED de la phase APD, la consommation totale d'énergies CVC+USE s'élevait à environ 56 000 kWh soit 62 kWh/m². Suite aux pistes d'optimisations énoncées dans la conclusion de l'étude thermique de la phase précédente et qui ont été mises en place (pour rappel : doublement de la production photovoltaïque + augmentation de l'isolant notamment en toiture) ainsi que la mise à jour des données d'entrées notamment l'occupation, ci-dessous les résultats des 2 scénarios :

Poste énergétique	Consommations - Scénario 1			Consommations - Scénario 2		
	Electricité	Réseaux RCU	conso/m²	Electricité	Réseaux RCU	conso/m²
Chauffage		25 308 kWh	28 kWh/m²		32 452 kWh	36 kWh/m²
Ventilation	6 496 kWh		7 kWh/m²	6 494 kWh		7 kWh/m²
Aux. Hydraulique	445 kWh		0 kWh/m²	484 kWh		1 kWh/m²
Eau chaude sanitaire	1 723 kWh		2 kWh/m²	1 723 kWh		2 kWh/m²
Eclairage	5 606 kWh		6 kWh/m²	5 597 kWh		6 kWh/m²
Usage spécifique	13 701 kWh		15 kWh/m²	13 693 kWh		15 kWh/m²
Production photovoltaïque	-12 458 kWh		-14 kWh/m²	-12 458 kWh		-14 kWh/m²
TOTAL	**15 513 kWh**	**25 308 kWh**	**45 kWh/m²**	**15 533 kWh**	**32 452 kWh**	**53 kWh/m²**

Nous pouvons constater en premier lieu que les consommations sont en nette baisse par rapport à celles estimées lors de la phase APD, avec près de 32% de réduction. La cause principale en est la diminution de l'effectif des locaux et du taux d'occupation qui viennent réduire le poste Usage Spécifique et le poste Ventilation. L'amélioration des performances sur le bâti vient baisser de près de 21% les consommations de chauffage. A tout cela s'ajoute le doublement de la production photovoltaïque compensant de manière importante les consommations.

Le second constat que nous pouvons faire c'est que la différence de consommations entre les scénarios 1 et 2 est d'environ 7.5% sur les consommations électriques et de 2.7% des consommations globales annuelles du bâtiment.

Ainsi les optimisations effectuées lors de la phase PRO/DCE permettent d'améliorer considérablement le bilan global des consommations d'énergies et d'avoir une marge importante sur l'objectif de la MOA fixé à 65.64 kWh/m².an.

6 ANNEXE 1 : DETAILS DES GARDE-FOUS DE LA REGLEMENTATION RT ELEMENT PAR ELEMENT

Dans le cadre de la rénovation du bâtiment existant, les performances thermiques sont identiques à celles du bâtiment neuf. Cela permet d'être supérieur aux valeurs « garde-fous » de la règlementation explicitées ci-dessous :

PAROIS	RÉSISTANCE thermique R minimale en zone H1A, H1B, H1C	RÉSISTANCE thermique R minimale en zone H2A, H2B, H2C, H2D et zone H3, à une altitude supérieure à 800 mètres	RÉSISTANCE thermique R minimale en zone H3, à une altitude inférieure à 800 mètres	CAS D'ADAPTATION POSSIBLES
Murs en contact avec l'extérieur et rampants de toitures de pente supérieure à 60°	3.2	3.2	2.2	En zone H1, la résistance thermique minimale peut être réduite jusqu'à 3,2 m2. K/ W dans les cas suivants : -dans les locaux à usage d'habitation, les travaux d'isolation sont réalisés par l'intérieur ; -ou le système constructif est une double peau métallique.
Murs en contact avec un volume non chauffé	2.5			
Toitures terrasses	4.5	4.3	4	La résistance thermique minimale peut être réduite jusqu'à 3 m2. K/ W dans les cas suivants : -l'épaisseur d'isolation implique un changement des huisseries, ou un relèvement des garde-corps ou des équipements techniques ; -ou l'épaisseur d'isolation ne permet plus le respect des hauteurs minimales d'évacuation des eaux pluviales et des relevés ; -ou l'épaisseur d'isolation et le type d'isolant utilisé implique un dépassement des limites de charges admissibles de la structure.
Planchers de combles perdus	5.2			
Rampants de toiture de pente inférieure 60°	5.2	4.5	4	En zone H1, la résistance thermique minimale peut être réduite jusqu'à 4 m2. K/ W lorsque, dans les locaux à usage d'habitation, les travaux d'isolation entraînent une diminution de la surface habitable des locaux concernés supérieure à 5 % en raison de l'épaisseur de l'isolant.
Planchers bas donnant sur local non chauffé ou extérieur	3	3	2.1	La résistance thermique minimale peut être diminuée à 2.1 m2. K/ W pour adapter l'épaisseur d'isolant nécessaire à la hauteur libre disponible si celle-ci est limitée par une autre exigence réglementaire.

TYPE DE PAROI VITRÉE	PERFORMANCE THERMIQUE
Fenêtres de surface supérieure à 0, 5m2, portes-fenêtres, double fenêtres, façade rideaux	Uw ≤ 1.9 W/ (m2. K)
Porte d'entrée de maison individuelle donnant sur l'extérieur	Ud ≤ 2 W/ (m2. K)
Verrière	Ucw ≤ 2.5 W/ (m2. K)
Véranda	Uvéranda ≤ 2.5 W/ (m2. K)