

Agir maintenant face au changement climatique

Rôle de l'enveloppe dans le confort d'été 2050,
décarbonation, efficacité énergétique // 28.02.24

Marika Frenette

Présidente Fondatrice // architecte OAO, urbaniste

Célia Mailfert

Directrice pôle Carbone & Economie Circulaire, ingénieure (France)

**STUDIO
CARBONE**



CEBQ
QBEC

Conseil de l'enveloppe du bâtiment du Québec
Quebec Building Envelope Council



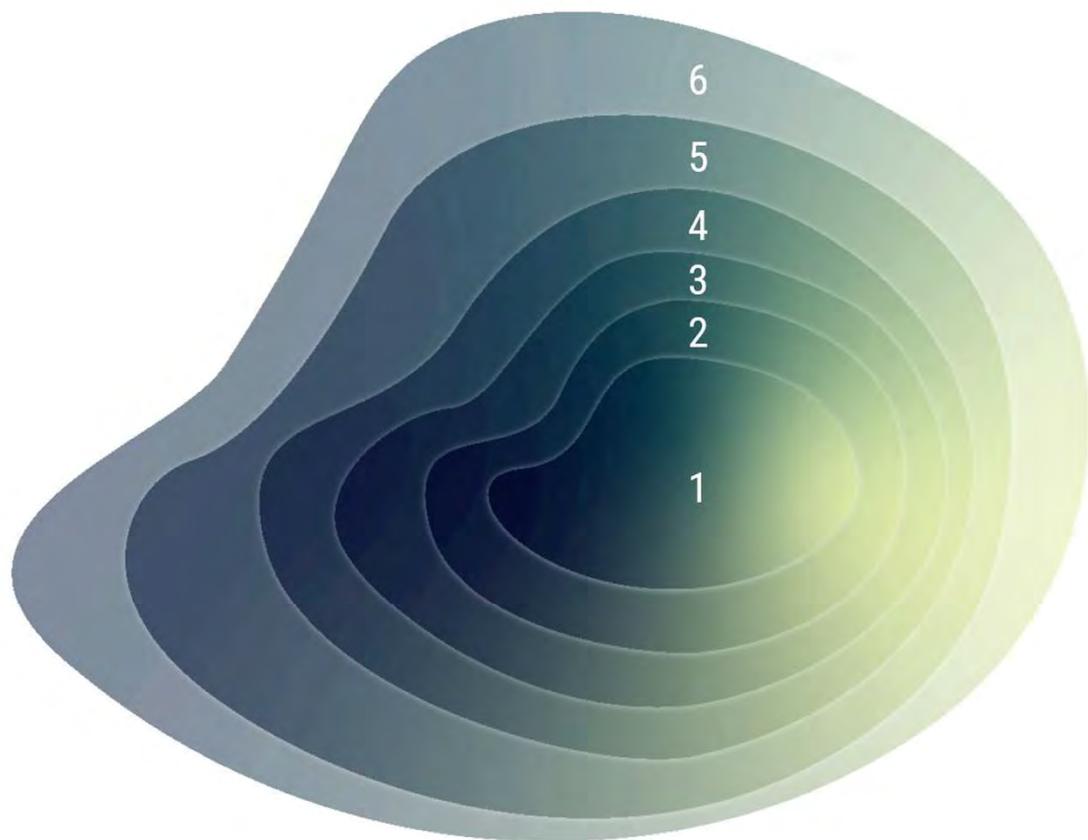
L'expérience de
l'ingénierie nordique

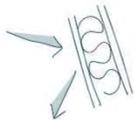
FRANCE | DANEMARK

**STUDIO
CARBONE**

D'un continent à l'autre,
à toutes les échelles

FRANCE | QUEBEC



- 6  **Organisation humaine**
- 5  **Territoire**
- 4  **Quartier**
- 3  **Bâtiment**
- 2  **Enveloppe**
- 1  **Matériaux**

Objectifs :

Rappel des notions et conventions carbone intrinsèque et opérationnel

Influence de l'enveloppe et regards croisés

2 Etude de cas pour faire le lien entre carbone et résilience

Le carbone et ses conventions



Services publics

Alimentation



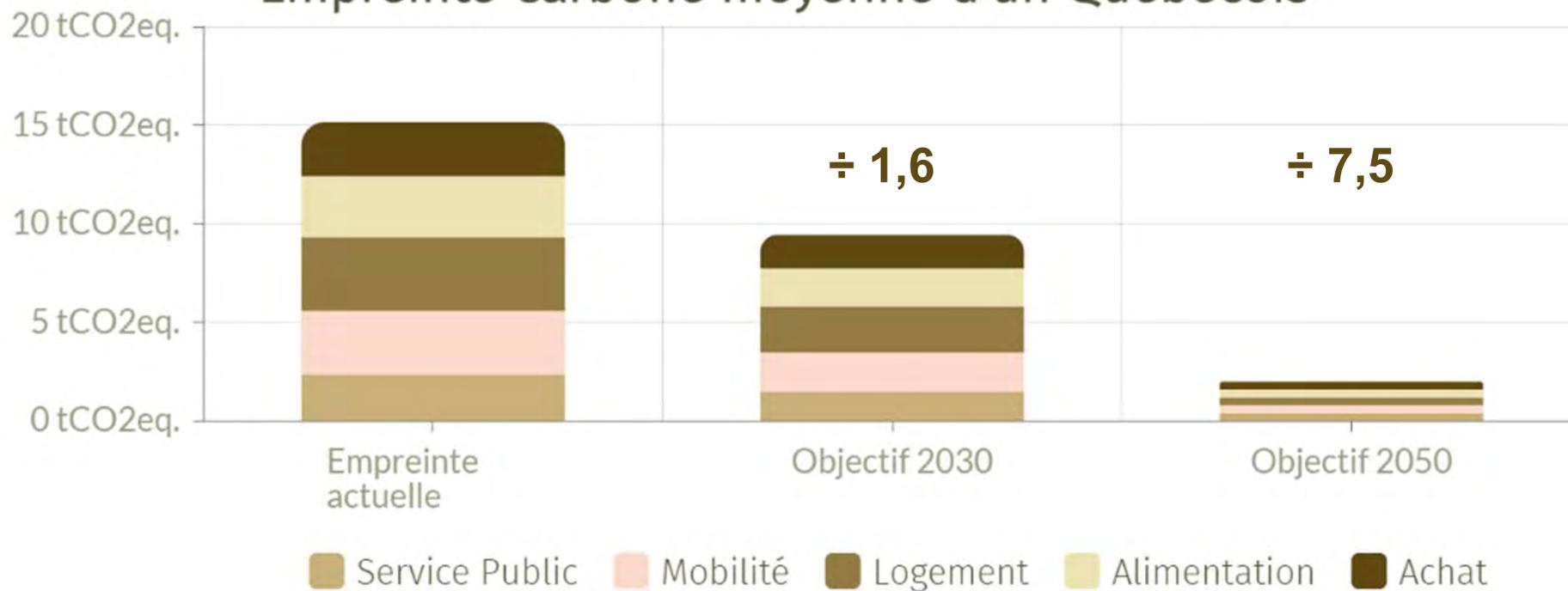
Biens de
consommation

Mobilité
(personnel)

Logement (s)

Source : Studio Carbone

Empreinte Carbone moyenne d'un Québécois

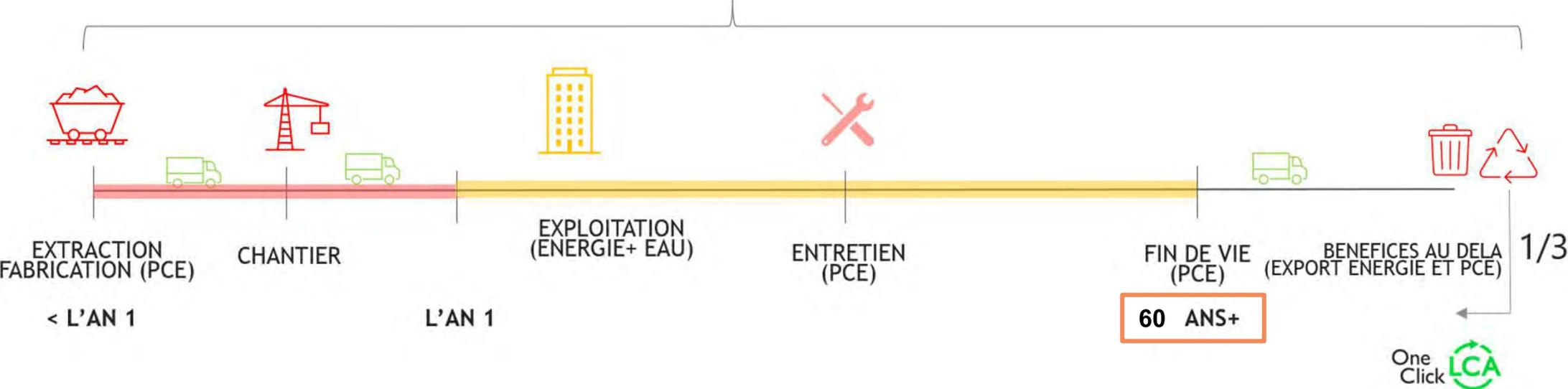


Source : Studio Carbone
Données : Shift Project

Comparer des ACV entre pays ?

kgCO₂e

PRG (POTENTIAL RÉCHAUFFEMENT GLOBAL)
+ D'AUTRES IMPACTS À TITRE INDICATIF (UTILISATION RESSOURCE, ÉPUISEMENT DES RESSOURCES, UTILISATION D'EAU DOUCE, DÉCHETS DANGEREUX ETC)



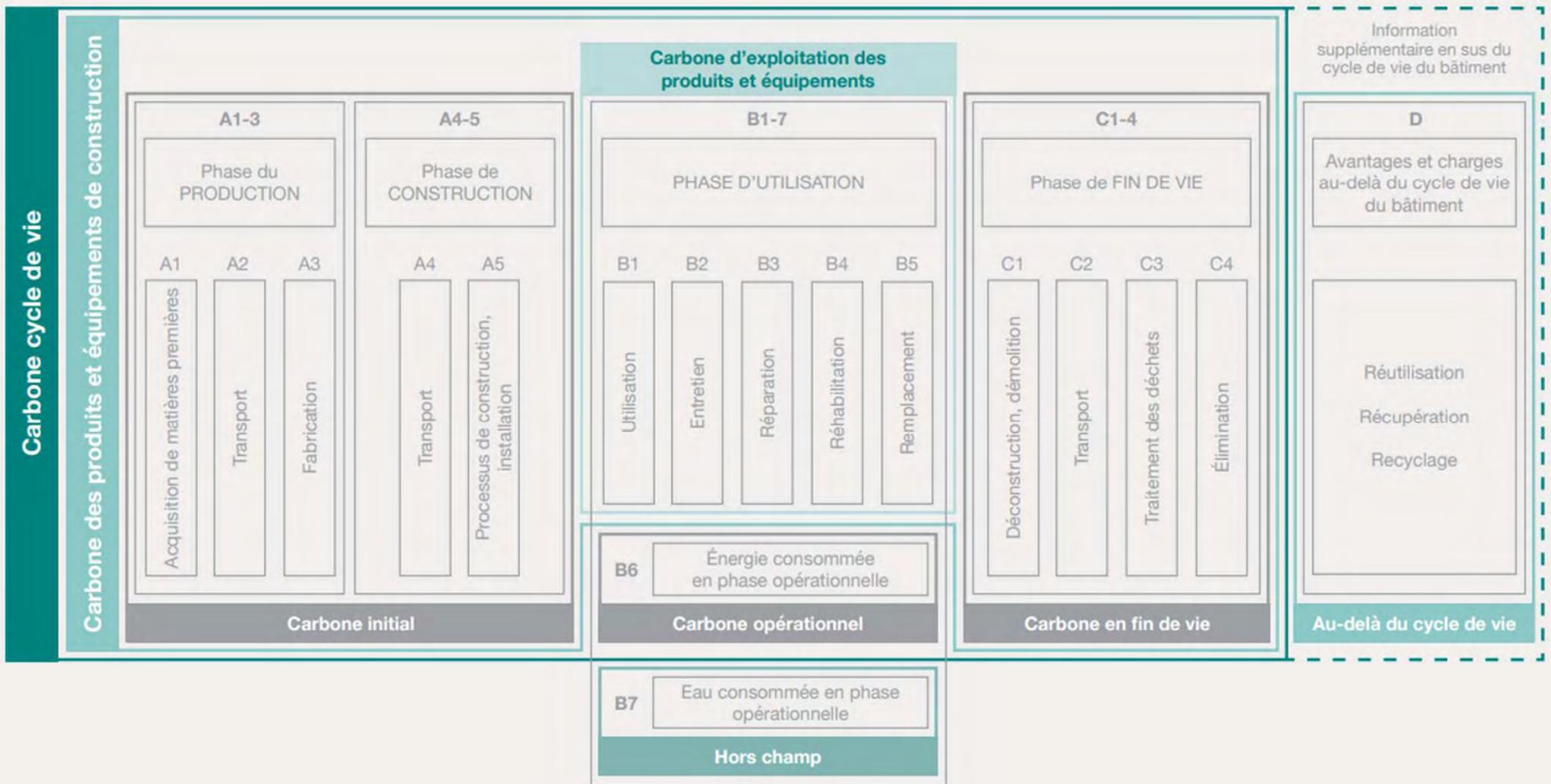


Figure 8 – Phases du cycle de vie du carbone intrinsèque

Source : CAGBC

France

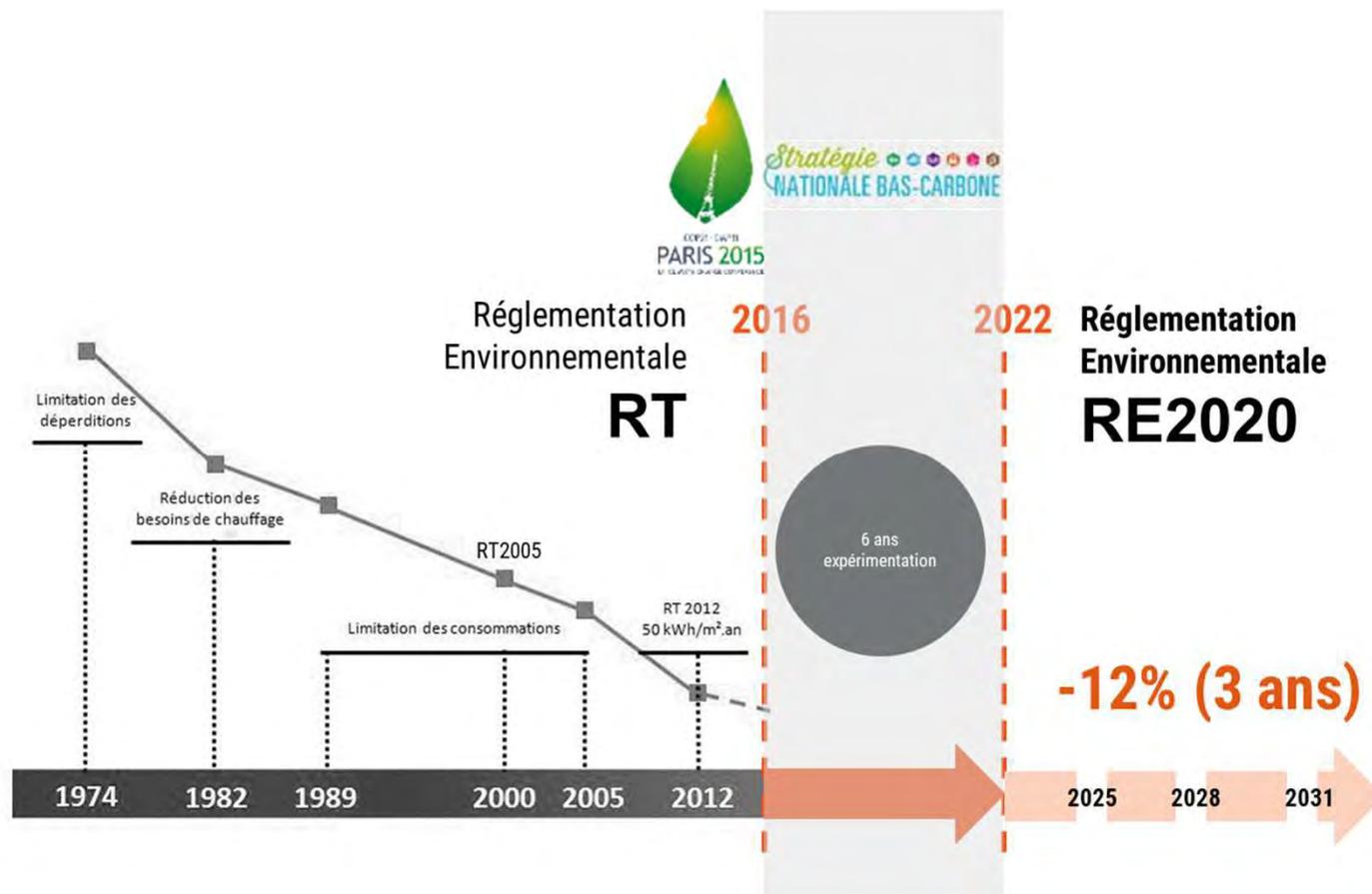
Périmètre :

- Intrinsèque + opérationnel
- Phase de production et construction [A1 à D]
- DVR : 50 ans

Seuils :

- 640 à 740 kgCO₂eq/m² selon typologie
- Evolutif

Entrée en vigueur :
2021



Source : Studio Carbone



Matériaux de construction à faibles émissions de carbone

De : [Innovation, Sciences et Développement économique Canada](#)



Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) et le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) sont à la recherche d'une solution qui permettra de mettre au point des matériaux de construction à faible émission de carbone en accordant la priorité à la fonctionnalité et à la rentabilité, en mettant l'accent sur le béton, le ciment et l'acier.

Toronto Green Standard

Périmètre :

- Structure et enveloppe
- Phase de production et construction [A1 à A5]
- DVR : 60 ans

Seuils (tier 1 à 4) :

- 350 à 450 kgCO₂eq/m² selon typologie
- Evolutifs

Entrée en vigueur :

2023 pour les bâtiments publics de la ville

Toronto Green Standard



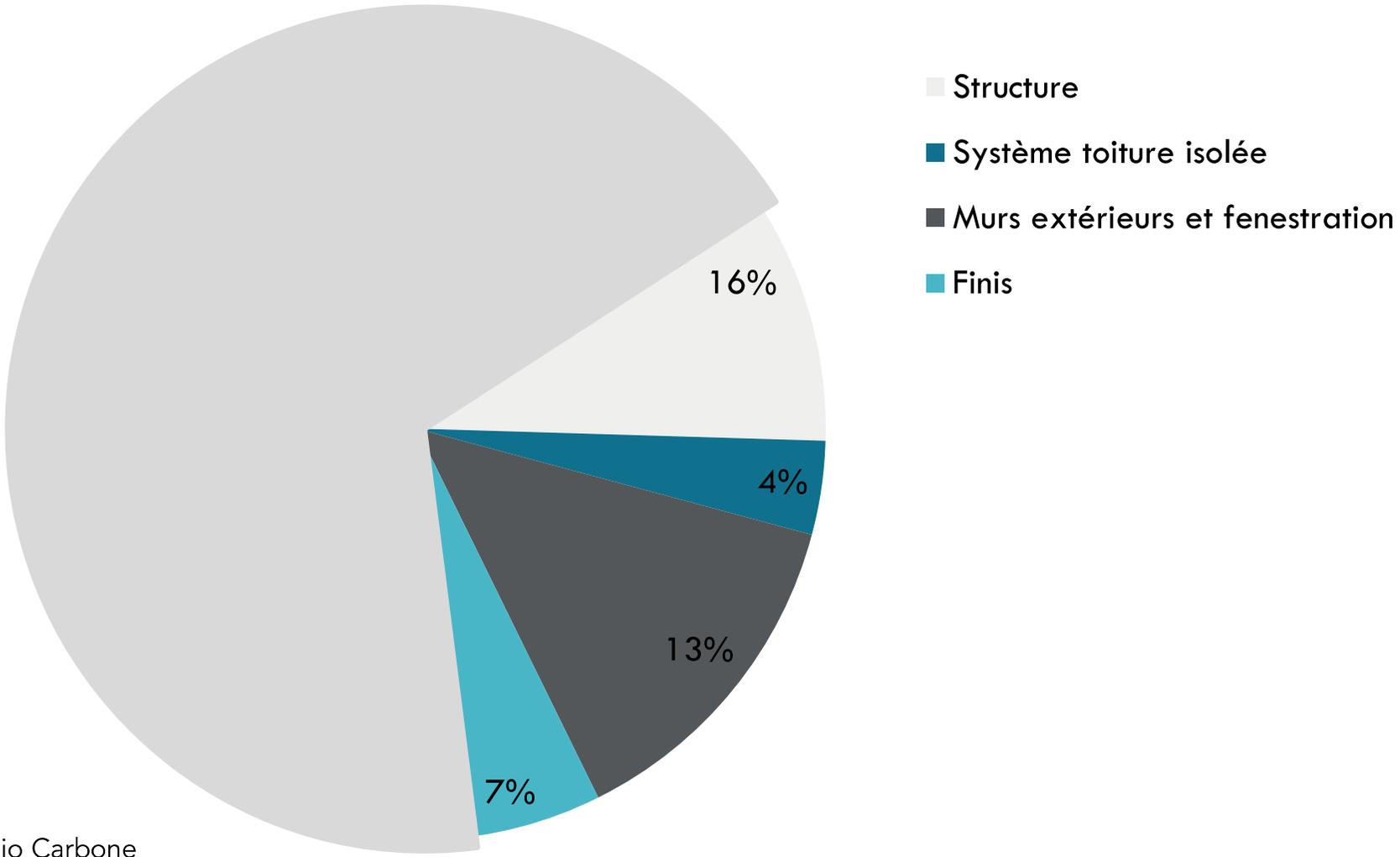
In December 2021, City Council adopted the [Net Zero by 2040 Climate Strategy](#) and accelerated the Toronto Green Standard (TGS) implementation dates for the Greenhouse Gas Emission limits to 2025 and 2028 so that buildings constructed on or after 2030 are near zero emissions. View the [TGS V4 Standards adopted by Council](#) in July 2021.

Source : www.toronto.ca/

Histoire d'échelle et de périmètre

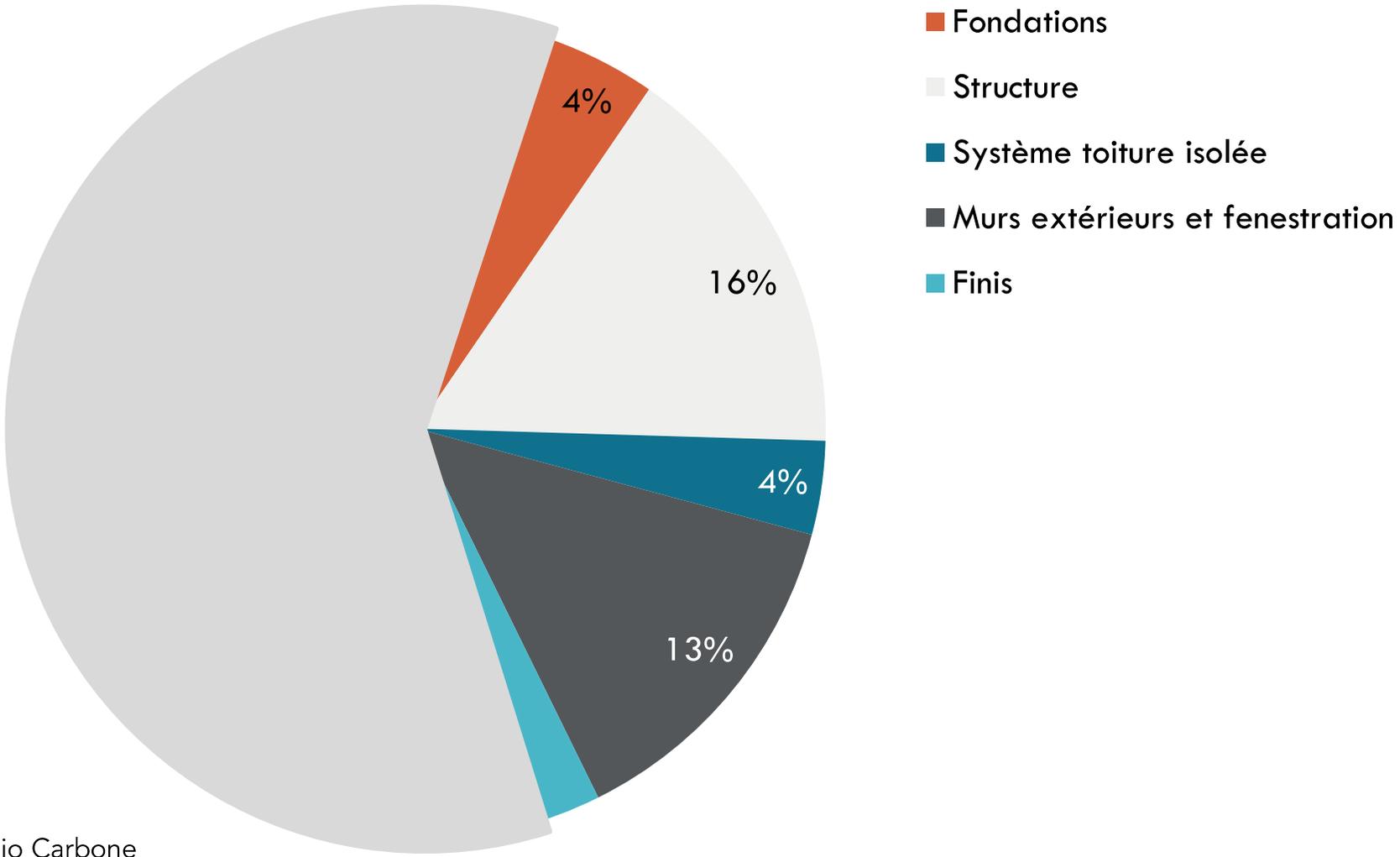


Périmètre « enveloppe »



Source : Studio Carbone

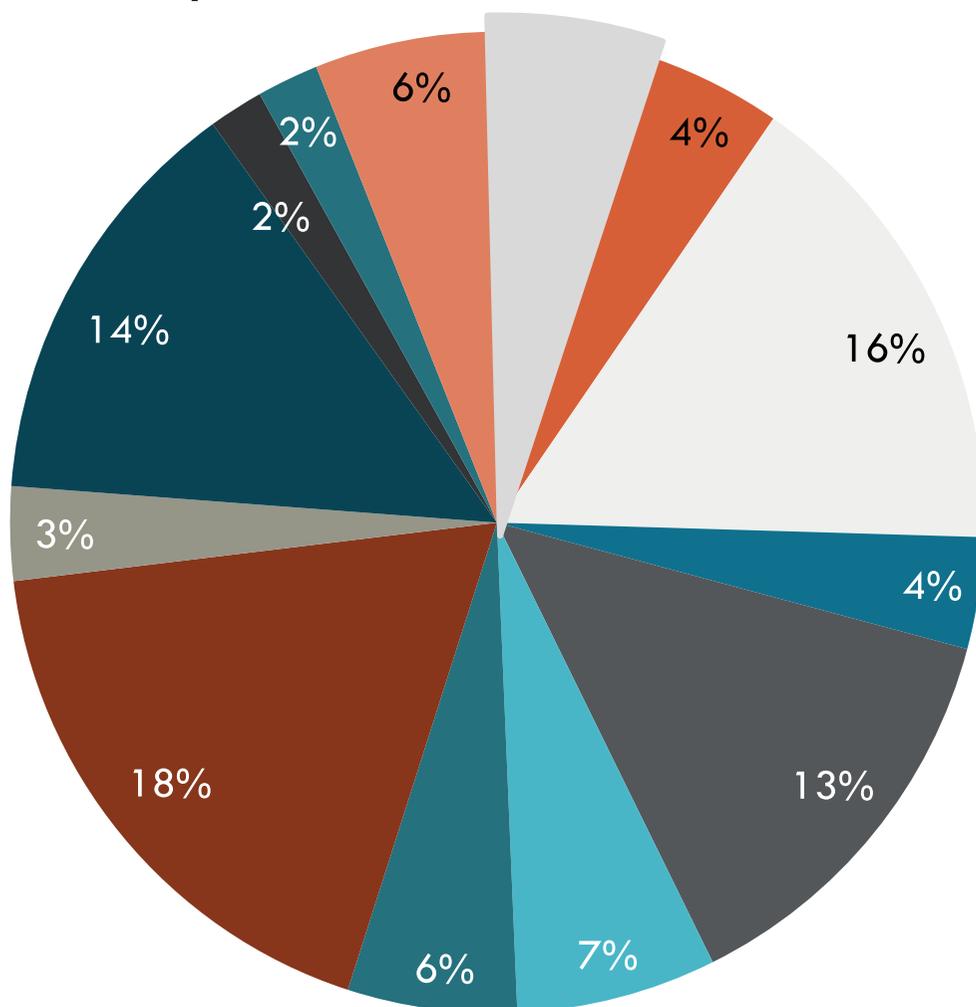
Périmètre « BCZ » - 30%



Source : Studio Carbone

Périmètre bâtiment

Carbone intrinsèque

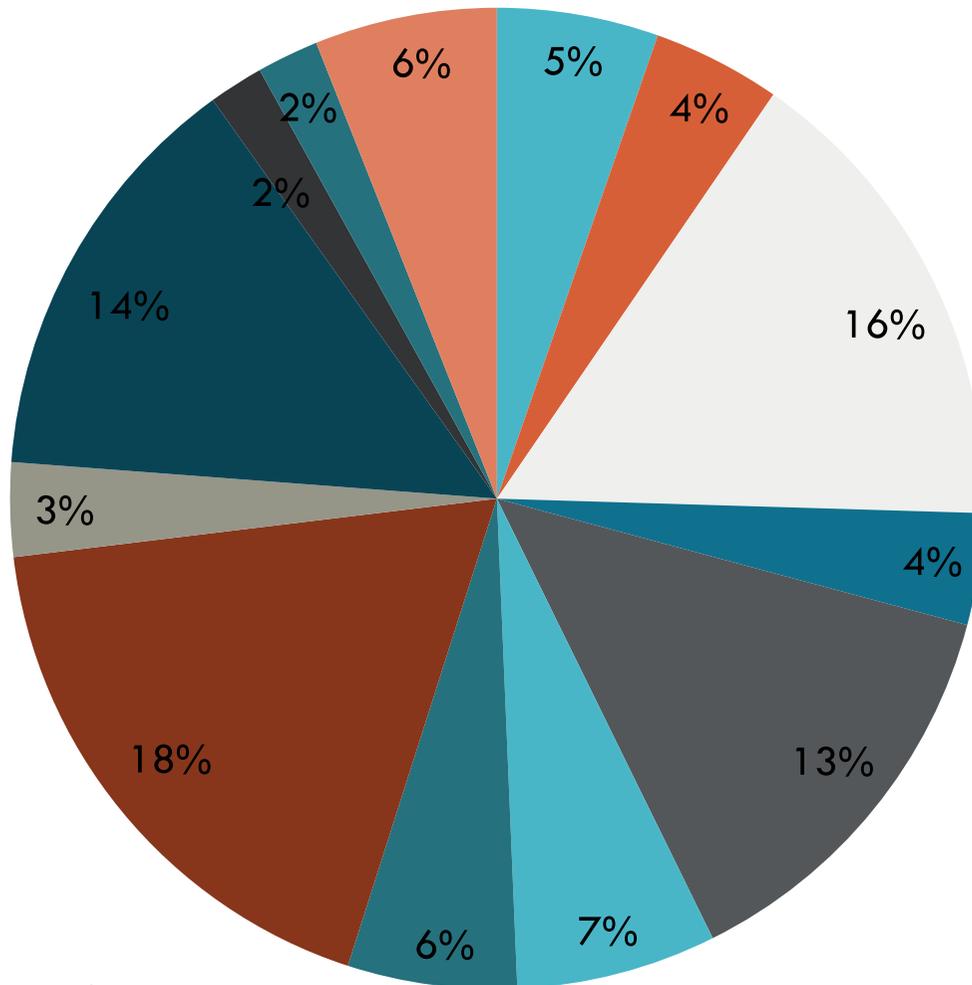


- Fondations
- Structure
- Système toiture isolée
- Murs extérieurs et fenestration
- Finis
- Cloisons, plafonds, portes intérieures
- Systèmes mécaniques
- Installations sanitaires
- Systèmes électriques
- Systèmes de communication
- Ascenseurs
- Production d'électricité
- Fluides frigorigènes

Source : Studio Carbone

Périmètre de la parcelle

Carbone intrinsèque

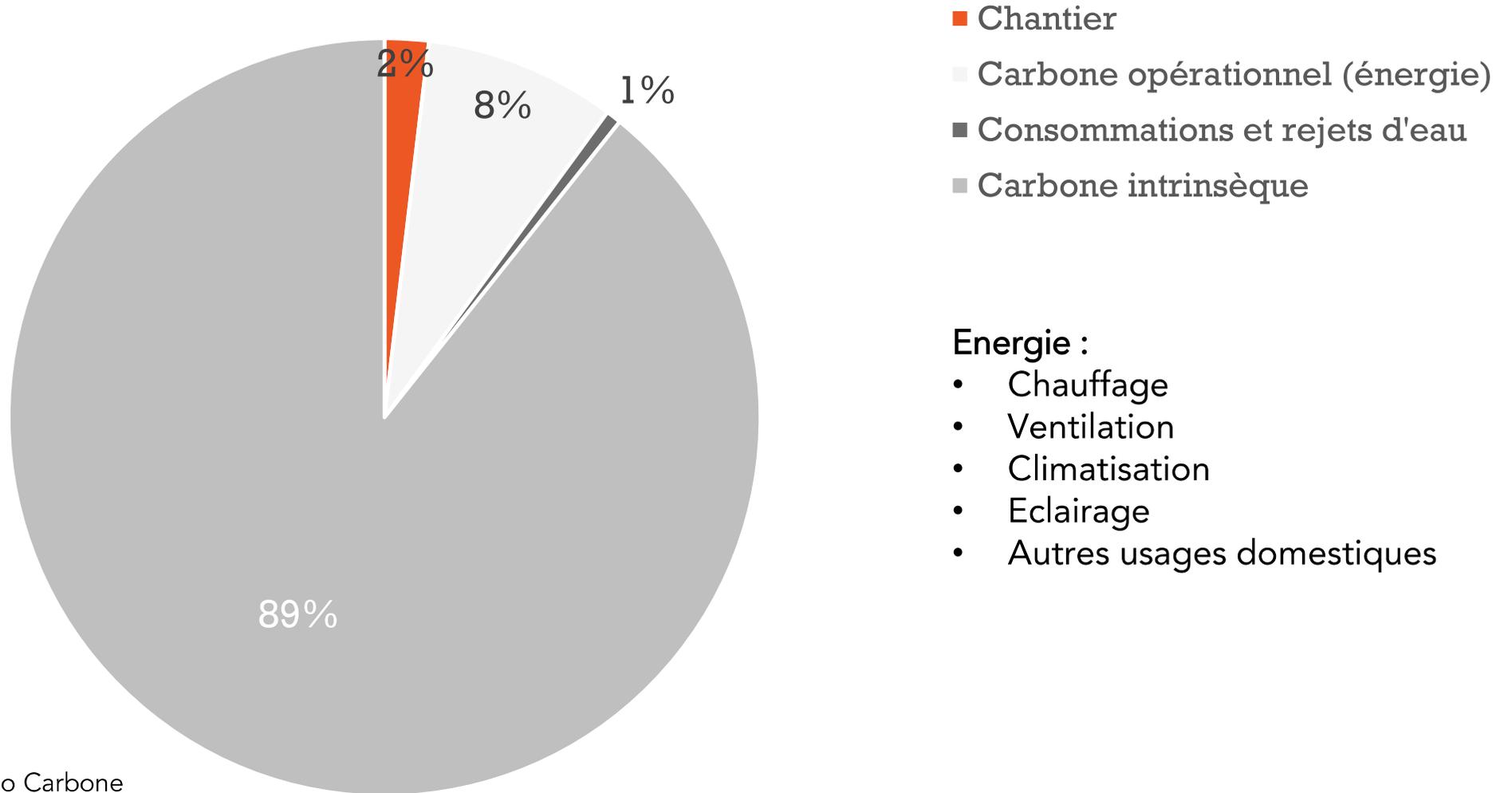


- Aménagements extérieurs
- Fondations
- Structure
- Système toiture isolée
- Murs extérieurs et fenestration
- Finis
- Cloisons, plafonds, portes intérieures
- Systèmes mécaniques
- Installations sanitaires
- Systèmes électriques
- Systèmes de communication
- Ascenseurs
- Production d'électricité
- Fluides frigorigènes

Source : Studio Carbone

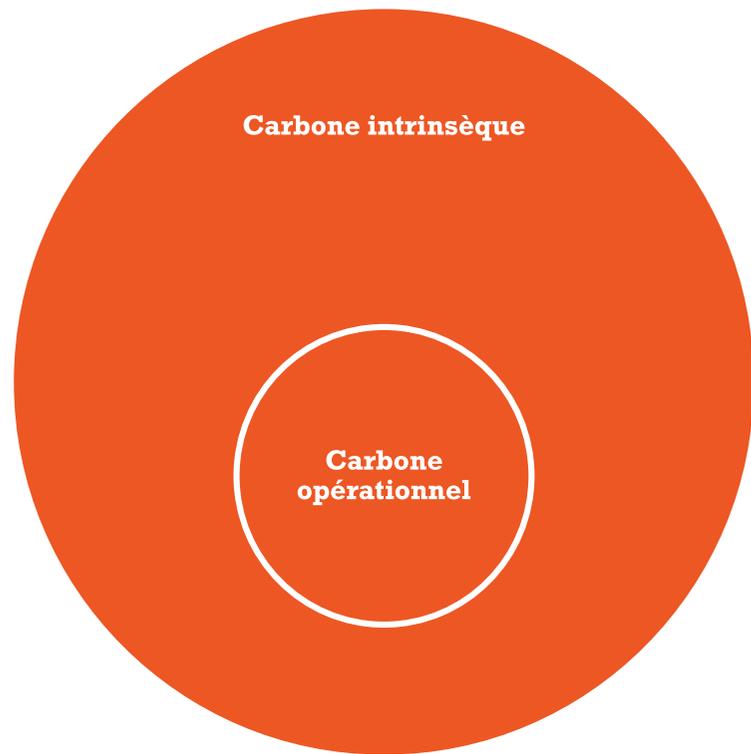
Périmètre de la parcelle

Carbone intrinsèque + Opérationnel

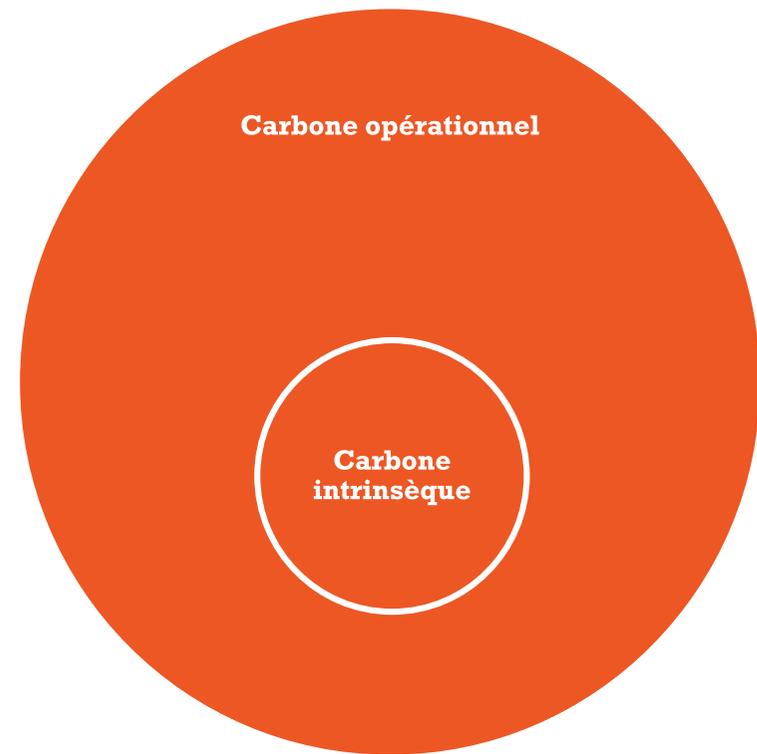


Source : Studio Carbone

Bâtiment neuf

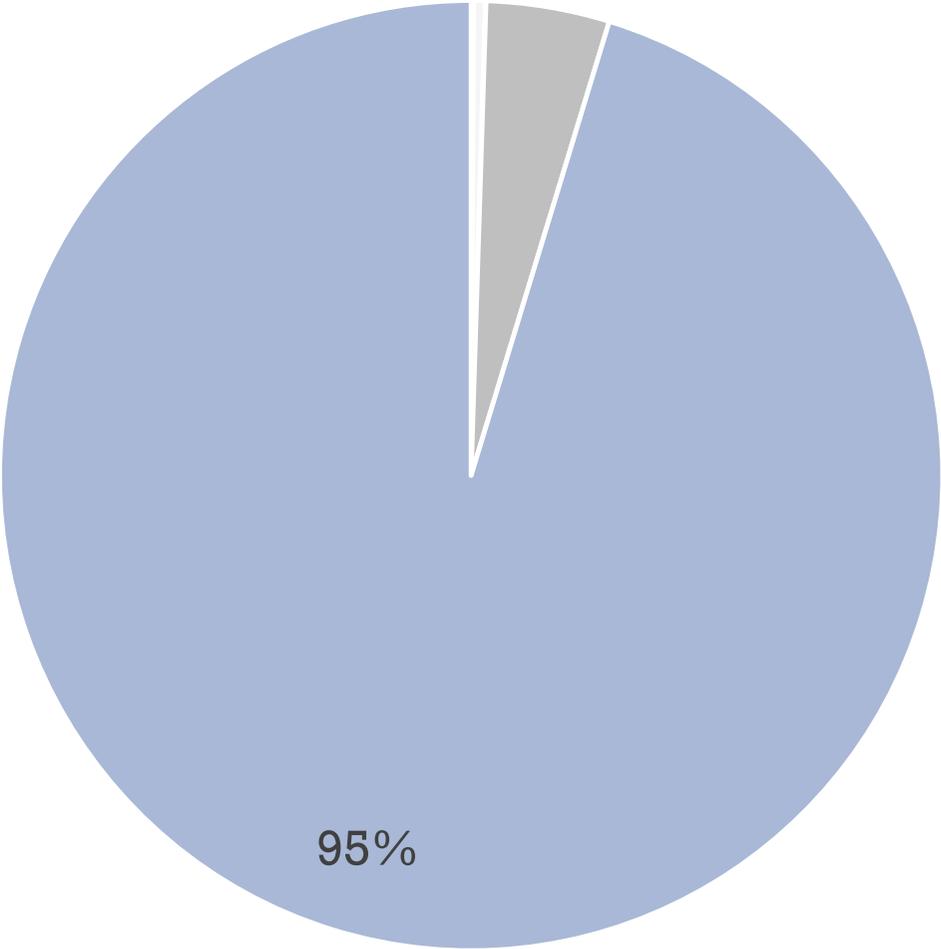


Bâtiment existant



Source : Studio Carbone

Périmètre d'influence

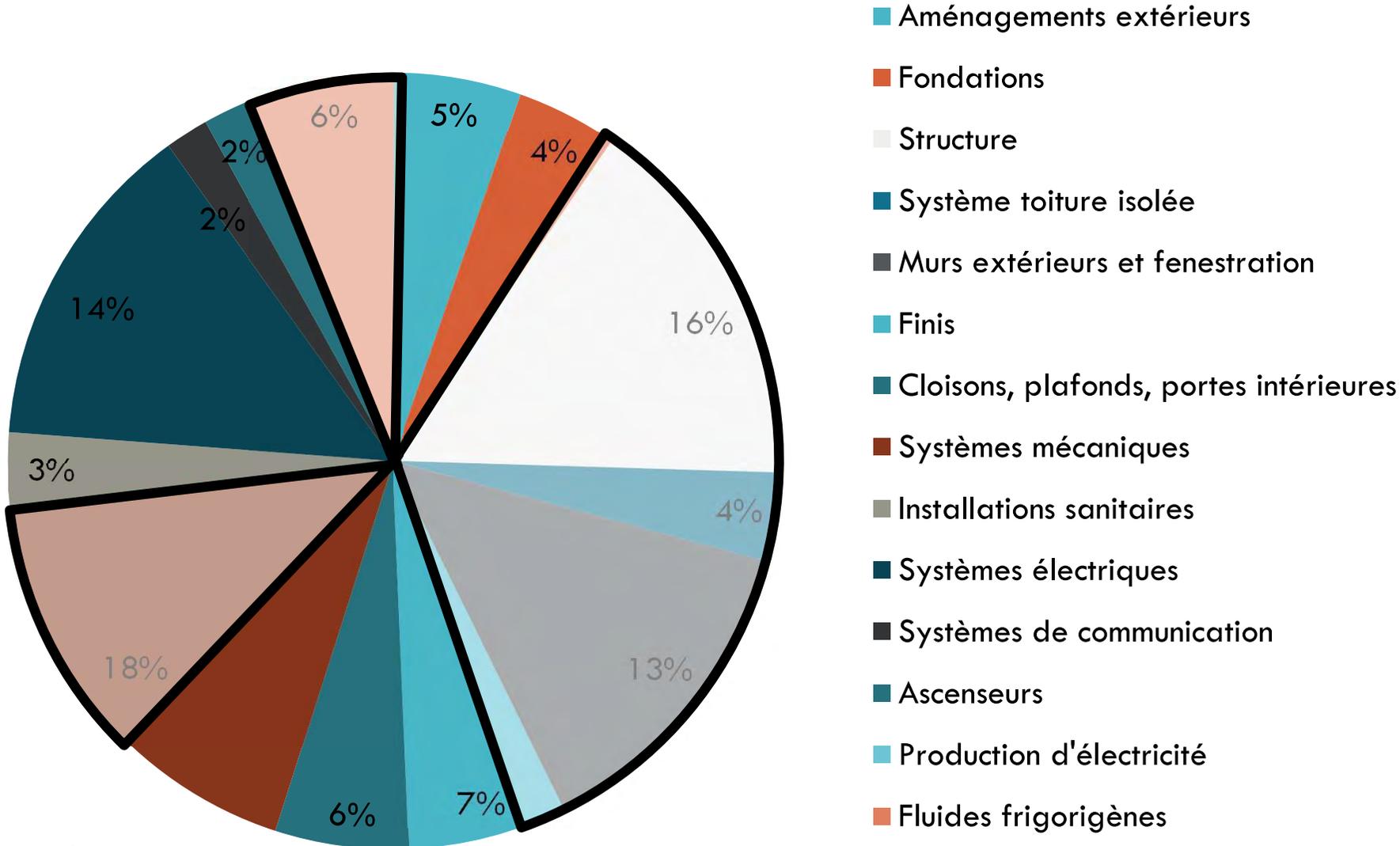


- Chantier
- Carbone opérationnel (énergie)
- Consommations et rejets d'eau
- Carbone intrinsèque
- Influence régénérative

Source : Studio Carbone

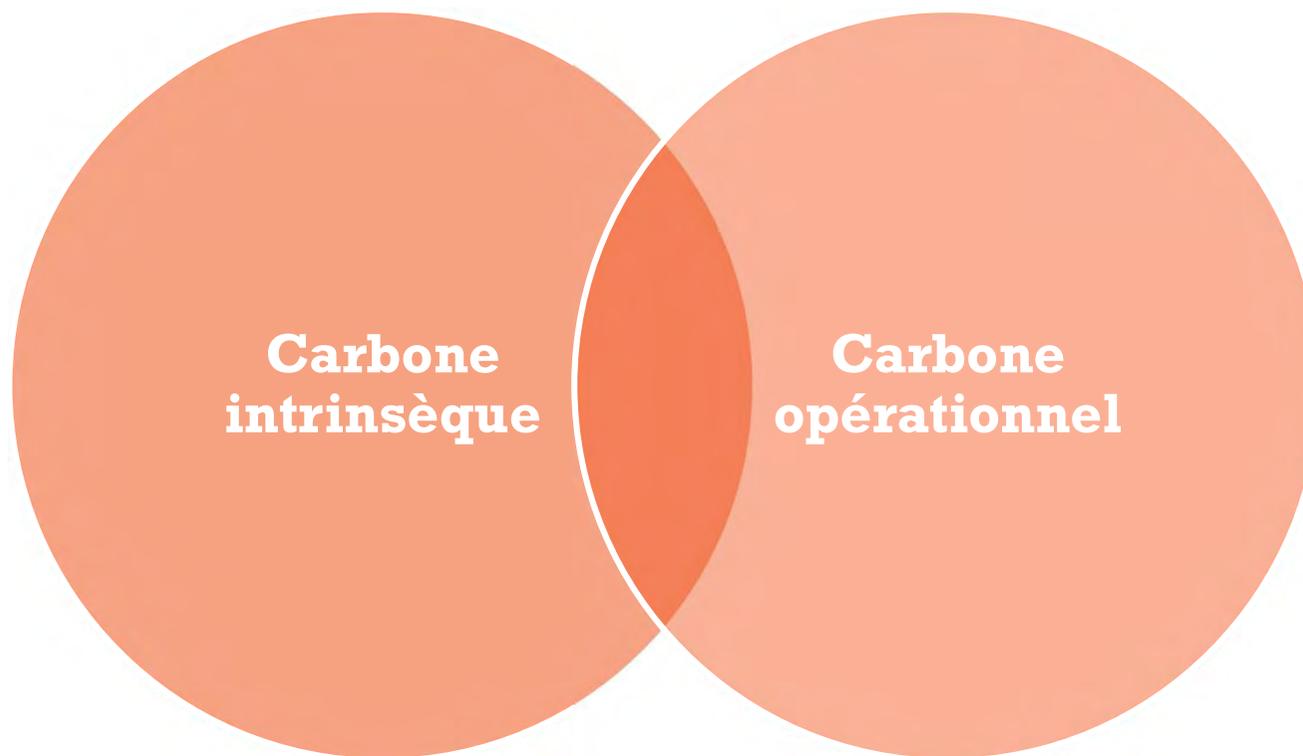
Zoom sur l'influence carbone de l'enveloppe

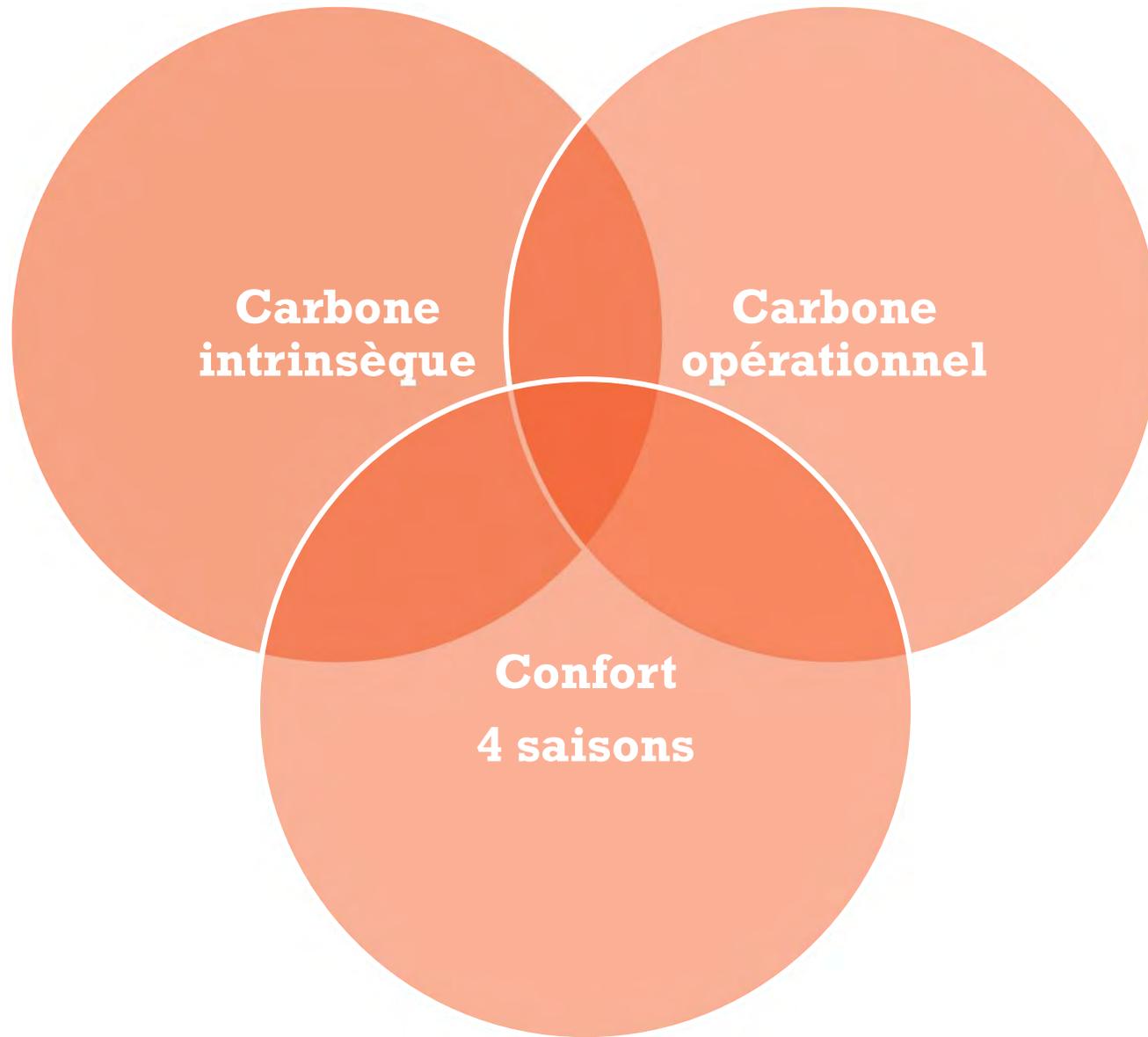
Angles morts



Source : Studio Carbone

Equilibre carbone intrinsèque / opérationnel



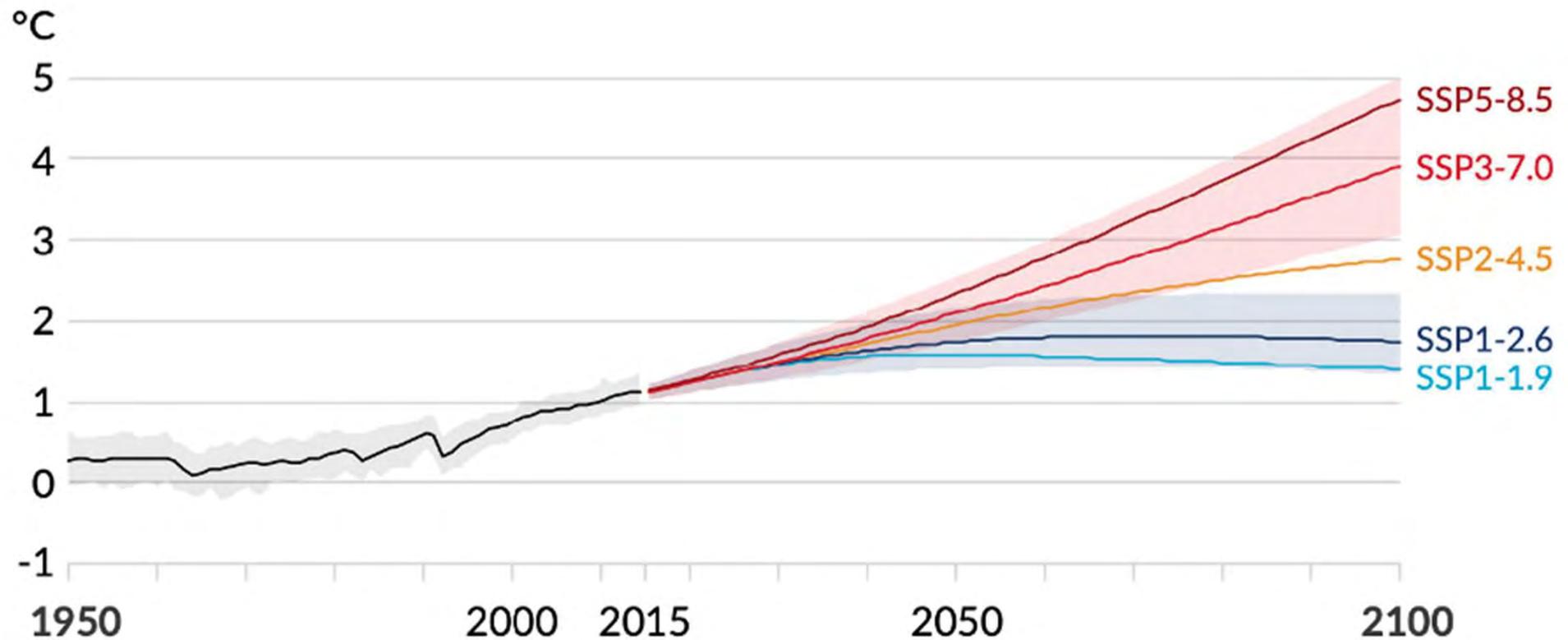


**Carbone
intrinsèque**

**Carbone
opérationnel**

**Confort
4 saisons**

Réduire et adapter



SSP : Share Socio-Economic Pathways

Décarboner les murs ?

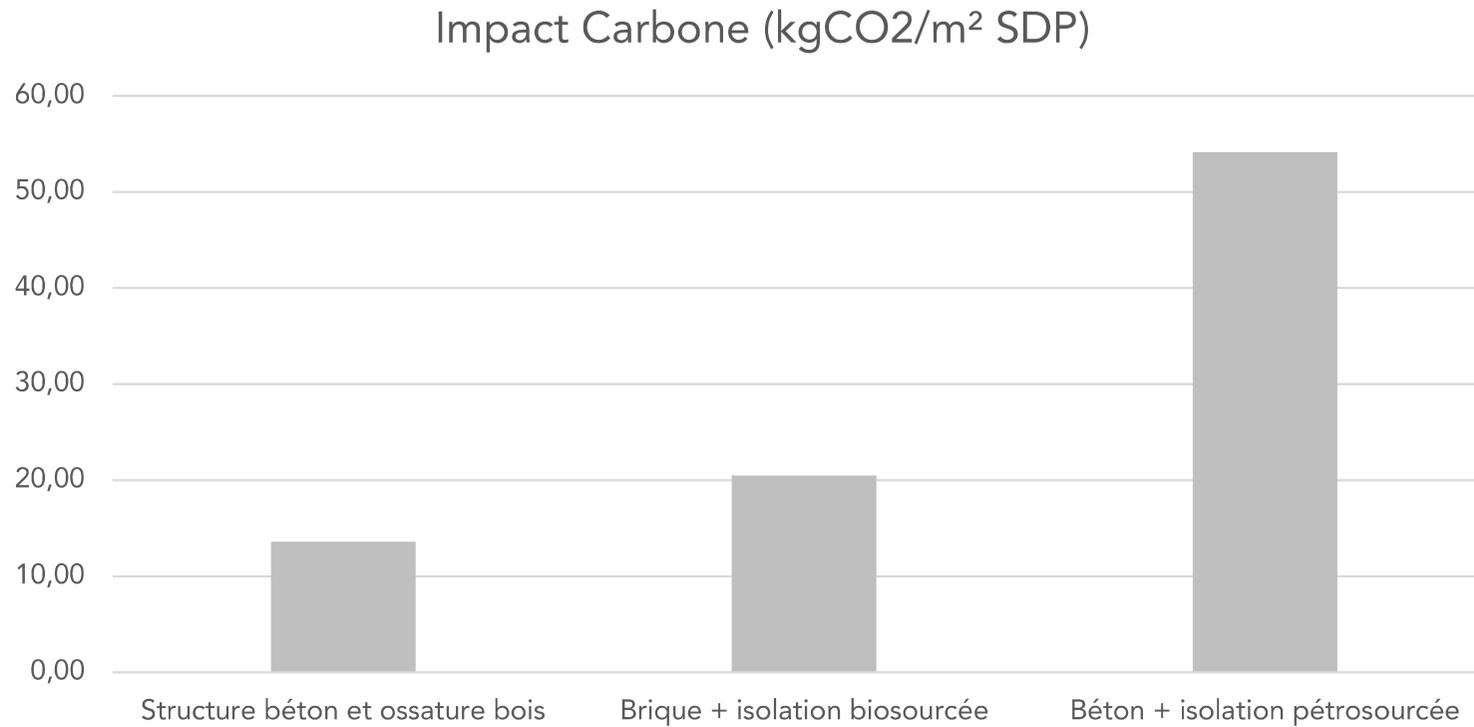


**Base - Mur poteau-poutre + mur préfabriqué
colombage bois - Partie courante :**

Élément	Impact <i>kgCO2/m² élément</i>	Durée de Vie de Référence <i>année</i>	Total <i>kgCO2/m² SDP</i>
Doublage gypse	2,17	50	1,03
Rail doublage intérieur	5,5	50	2,62
Complément isolant intérieur biosourcé 80 mm	0,921	50	0,44
Pare-vapeur	1,47	30	0,93
Isolant entre montants - biosourcé 145 mm	1,842	50	0,70
Ossature bois	8,83	50	3,36
Contreventement - OSB	1,69	50	0,64
Complément isolant extérieur - biosourcé	-8,55	50	-4,07
Enduit	8,73	50	4,15
Prise en compte poteaux béton (hypothèse : 20% du linéaire de mur)	40	50	3,80
			13,61

Variante – Brique isolante + isolation intérieure

Élément	Impact <i>kgCO2/m² élément</i>	Durée de Vie de Référence <i>année</i>	Total A <i>kgCO2/m² SDP</i>
Doublage gypse	2,17	50	1,03
Rail doublage intérieur	5,5	50	2,62
Pare-vapeur	1,47	30	1,17
Complément isolant intérieur biosourcé	1,842	50	0,88
Brique terre cuite	22,4	50	10,65
Enduit	8,73	50	4,15
			20,49



+300% à l'échelle du mur

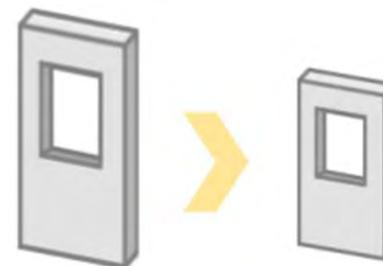
+ 9% sur l'impact du bâtiment (périmètre BCZ)

+ 6% sur l'impact du bâtiment (périmètre global)

Travailler la notion de sobriété et de compacité



Le déroulé de façade



La hauteur des étages
principalement en bureau

- 10% carbone intrinsèque

Effacité énergétique hivernale et la notion de « confort »



19°C à
22°C

Et aussi efficacité énergétique estivale ... et le « confort »



26° à
28°C

Innover, débloquer les verrous normatifs, et circulariser les matériaux



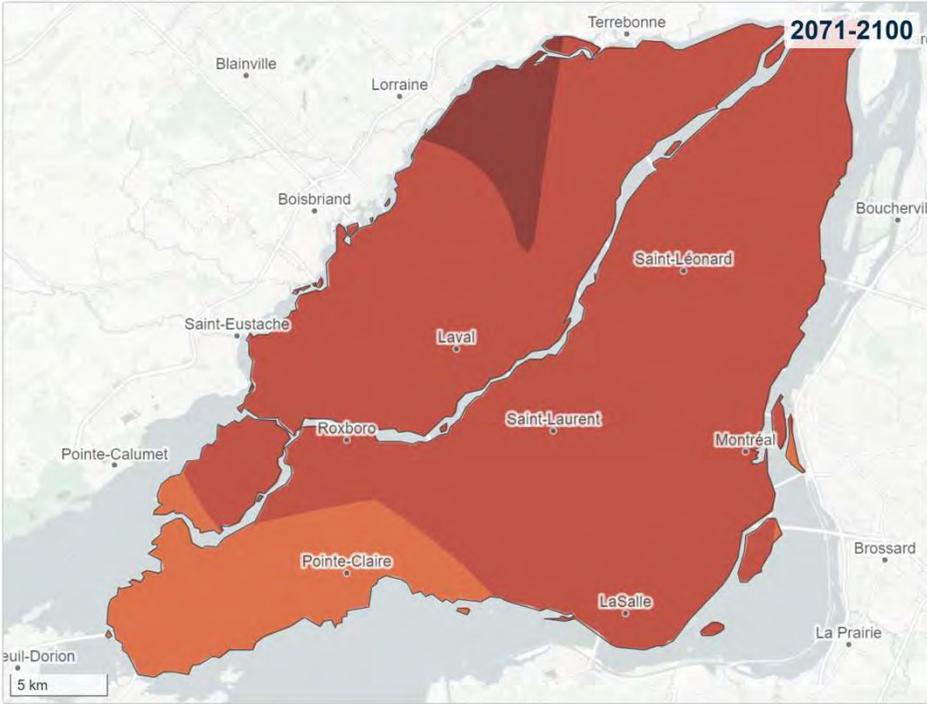
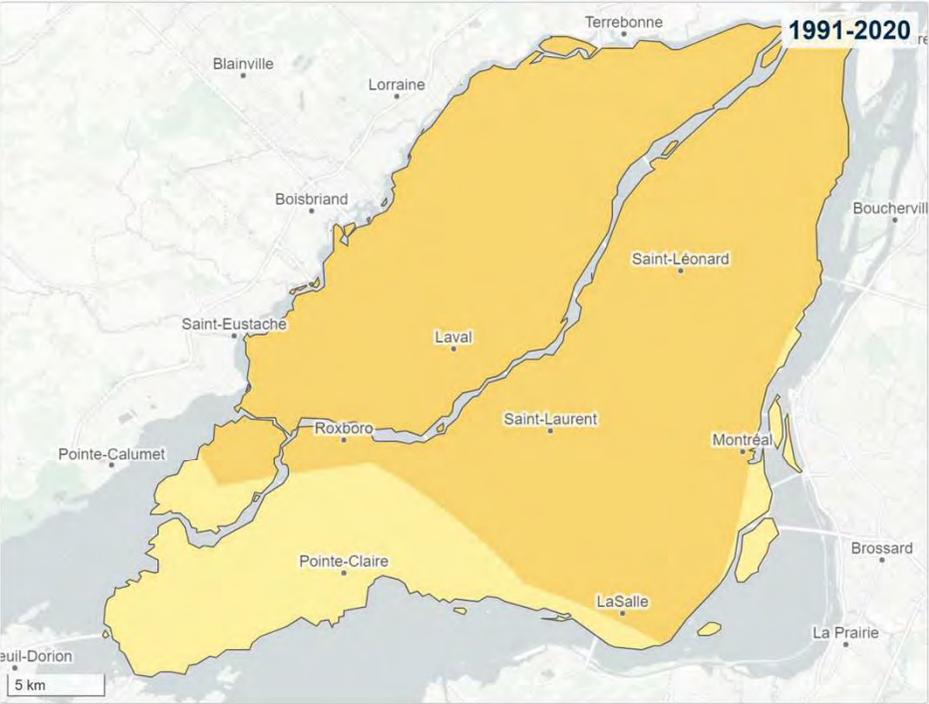
Adapter et anticiper la résilience

Moyenne des températures maximales (Été)

Climat actuel (1991-2020) comparé au climat futur (2071-2100)

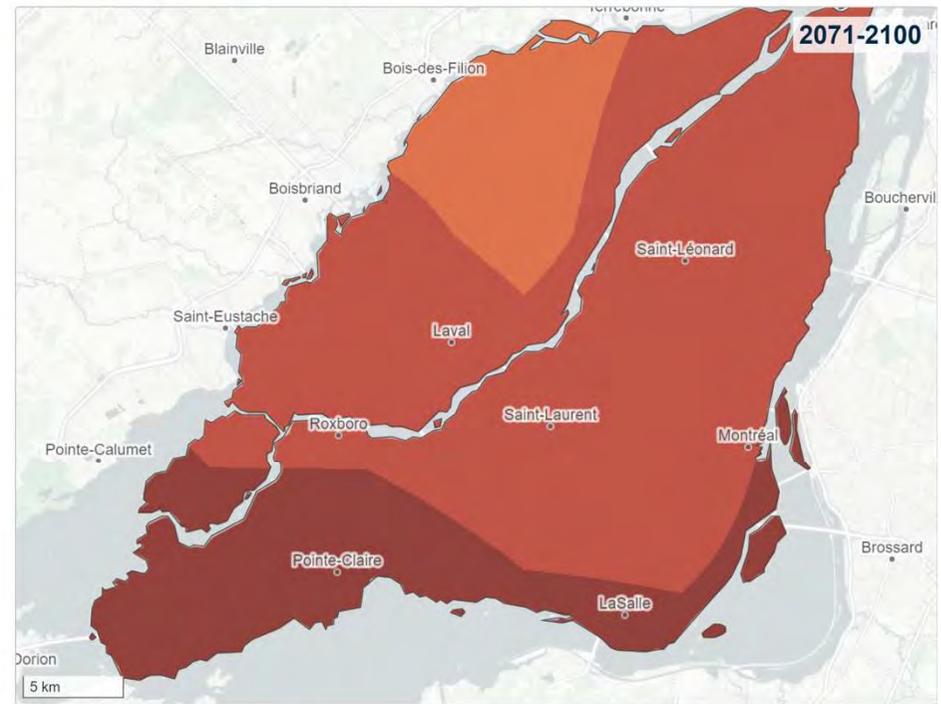
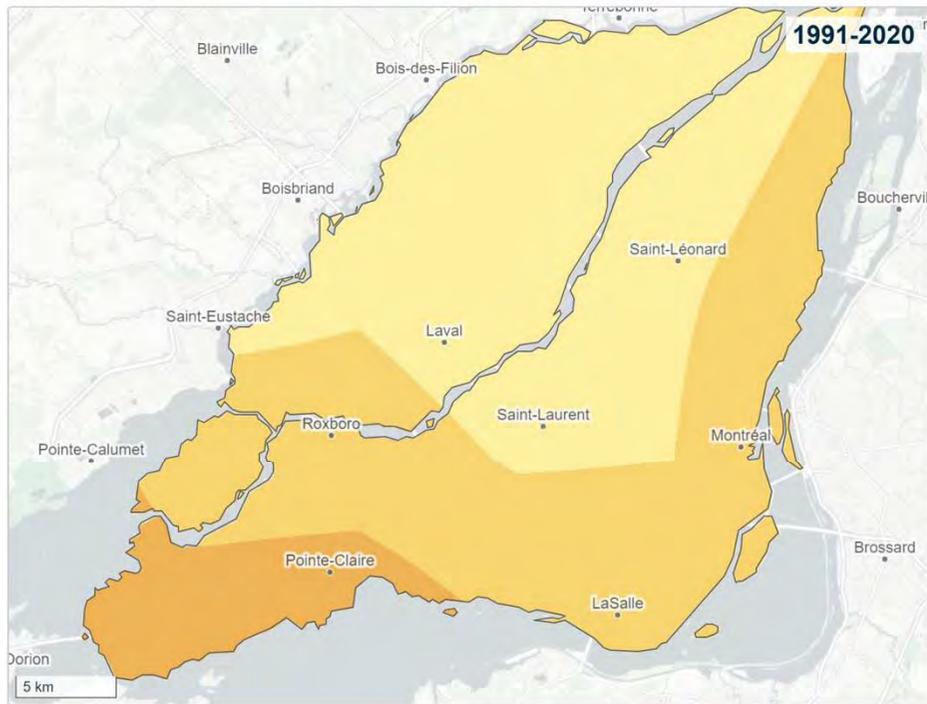
Scénario à Élevées (SSP3-7.0), 50^e centile, CMIP6,

Montréal/Laval



© Ouranos 2024, v2.2.1, Tous droits réservés.

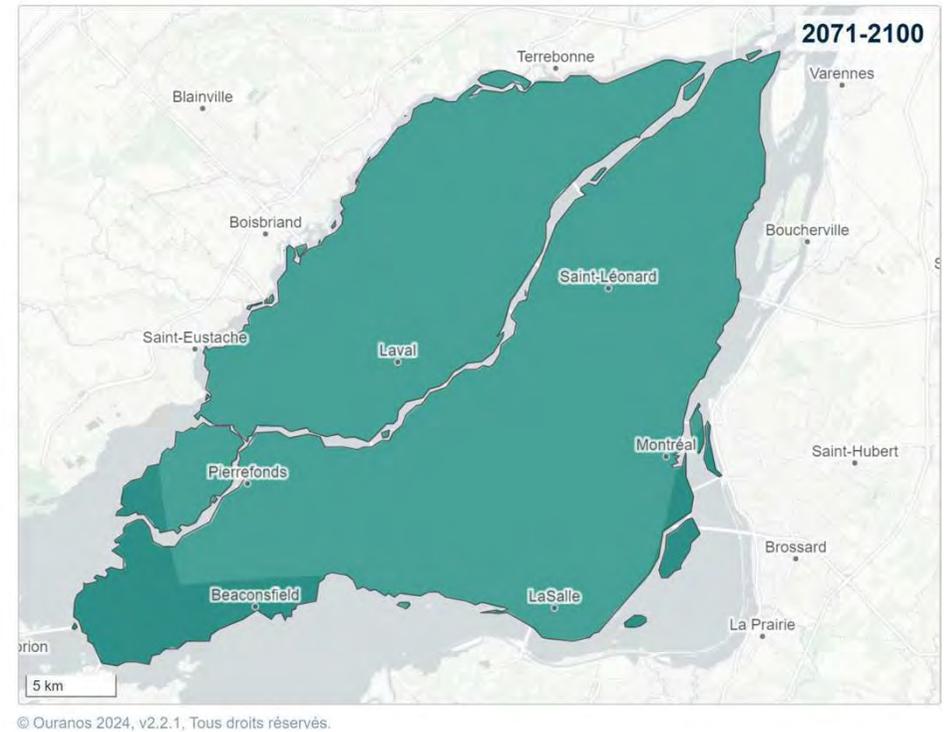
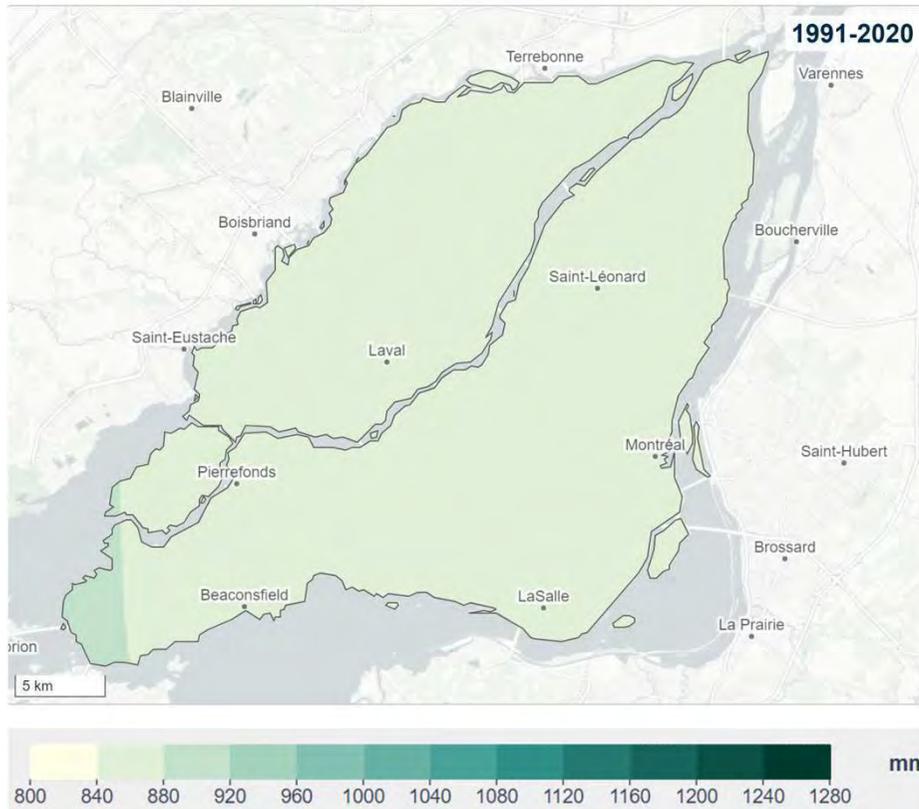
Moyenne des températures minimales (Hiver)
Climat actuel (1991-2020) comparé au climat futur (2071-2100)
Scénario à Élevées (SSP3-7.0), 50^e centile, CMIP6,
Montréal/Laval



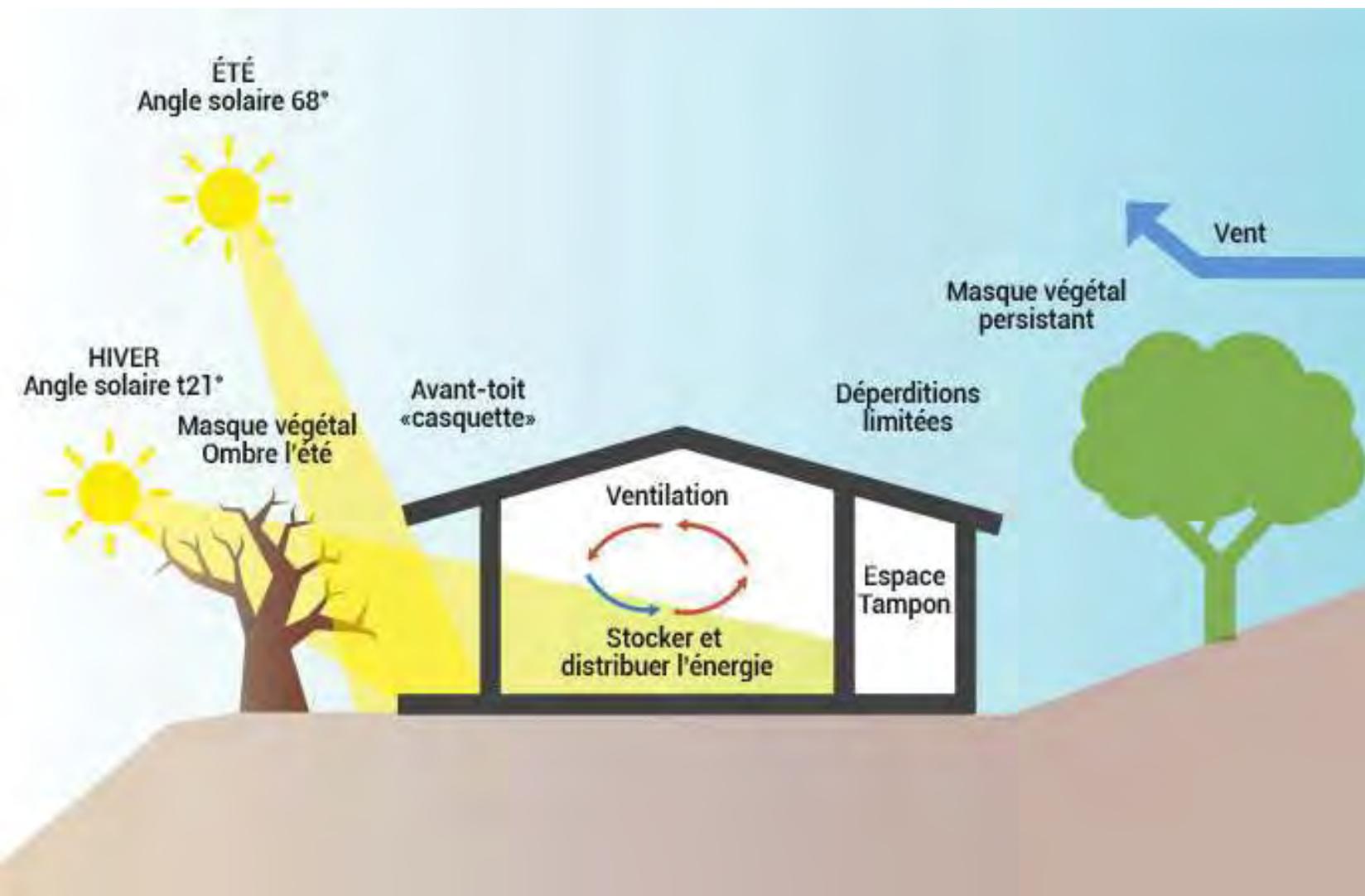
© Ouranos 2024, v2.2.1, Tous droits réservés.



Total des précipitations liquides (Annuel)
Climat actuel (1991-2020) comparé au climat futur (2071-2100)
Scénario à Élevées (SSP3-7.0), 50^e centile, CMIP6,
Montréal/Laval



Un concept à jour de résilience ?



Ajouter :

Les autres orientations

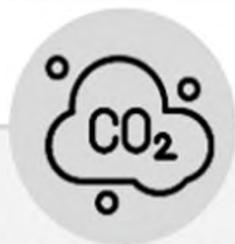
Les mi-saisons

L'environnement urbain
de densification

Etude de cas 1 - Bâtiment mixte

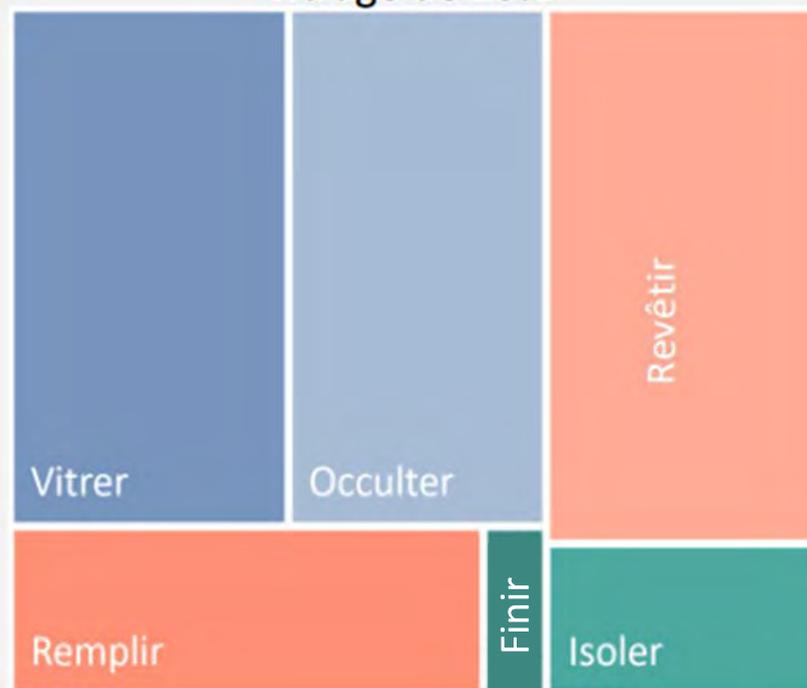
Logements et commerces





Répartition du poids carbone d'une façade (hors fonction Porter)

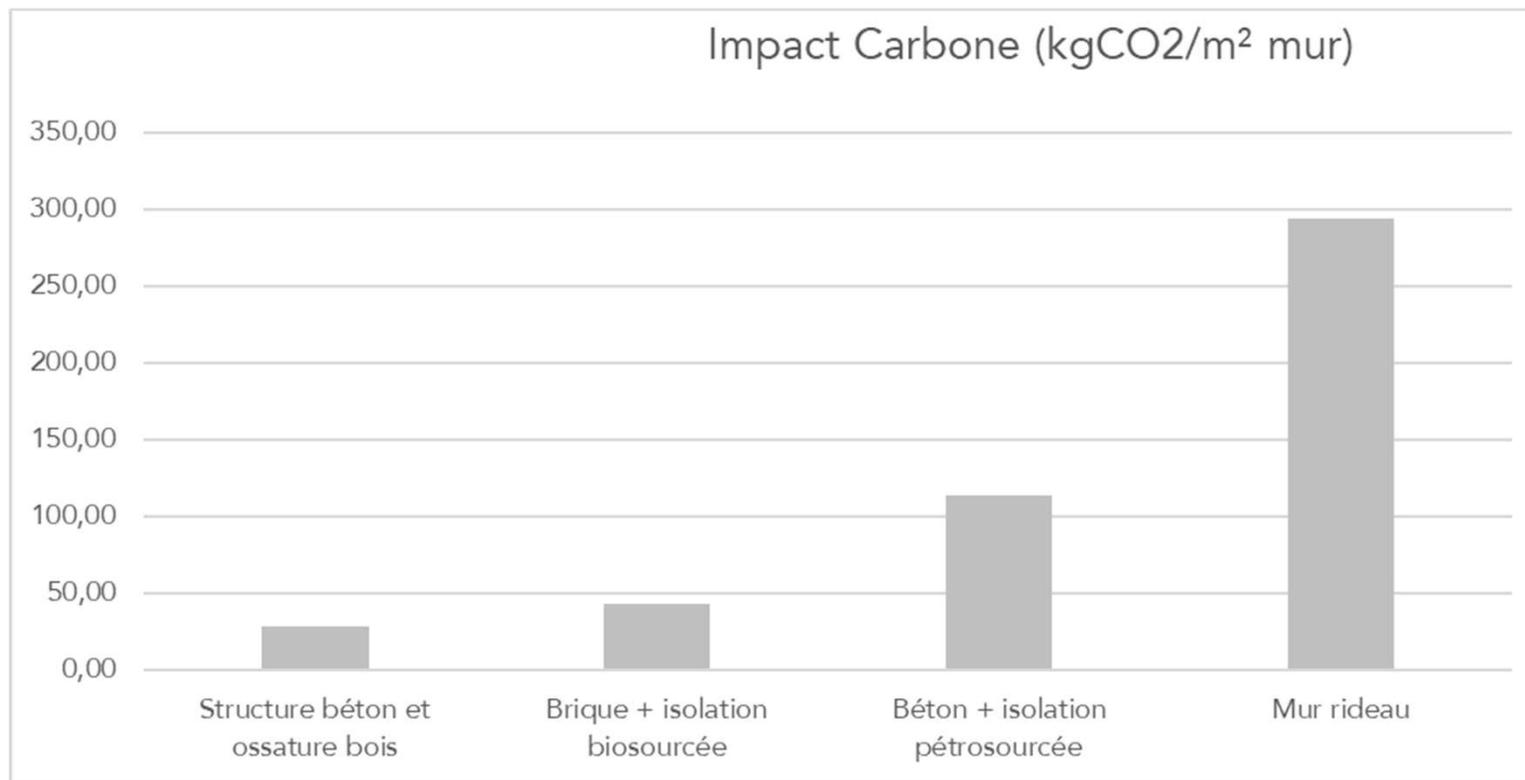
Exemple d'un système poteaux-poutre avec un taux de vitrage de 25%



Source : IFPEB



Tour Duo – Paris 13^e
Ateliers Jean Nouvel
Source : Jad Sylla Photography



+ 18% sur l'impact du bâtiment (périmètre global)

Source : Studio Carbone

Répartition du poids carbone des fonctions selon deux typologies de façade

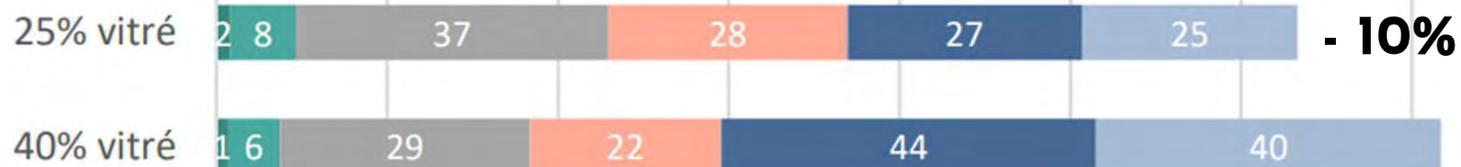
En $kgCO_2e/m^2$ de façade

Finir Isoler Porter Remplir & Revêtir Vitrer Occulter

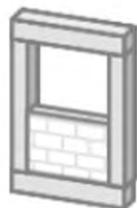
0 20 40 60 80 100 120 140 160



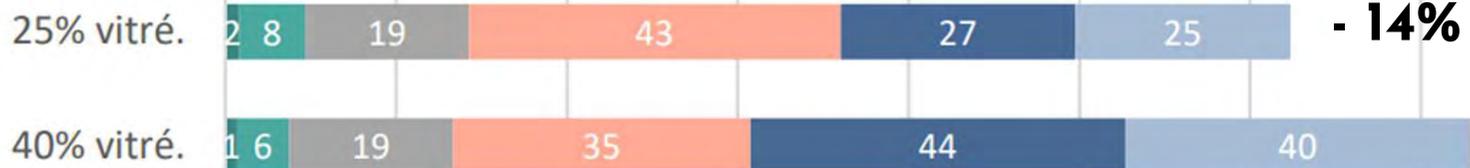
Voile percé



- 10%



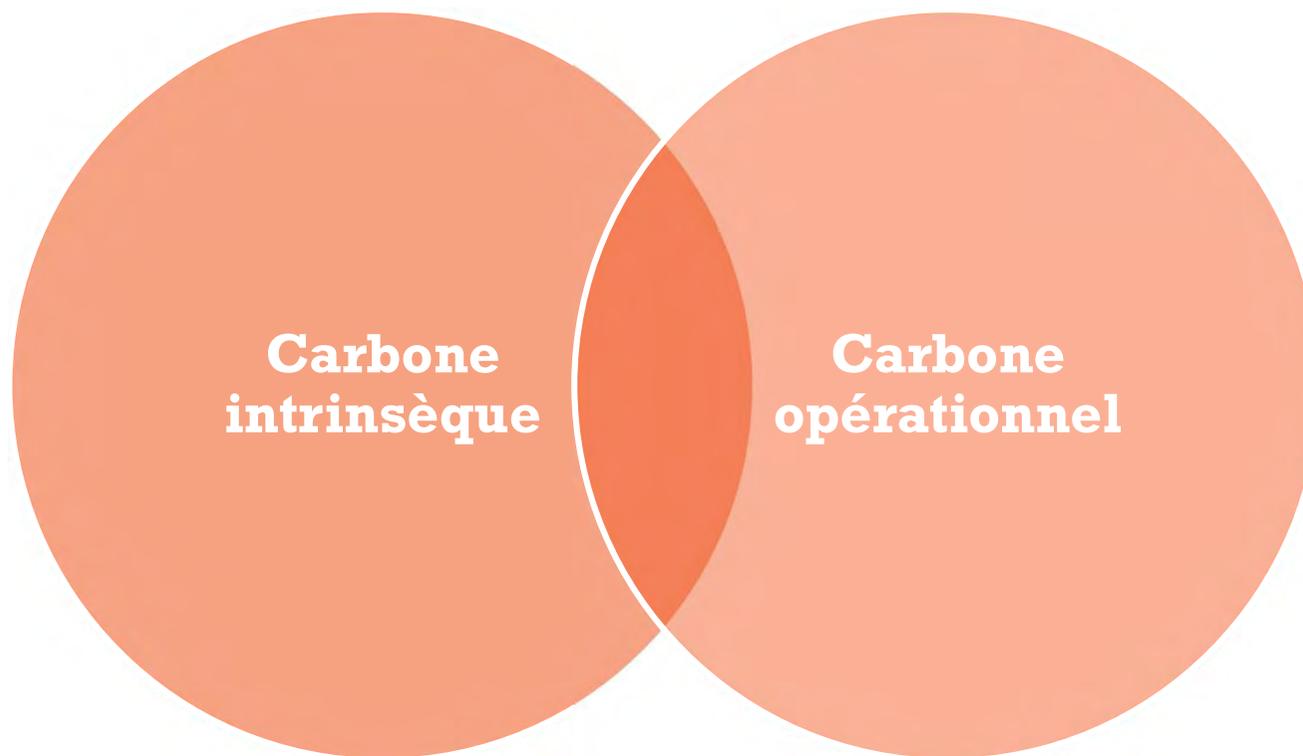
Poteau-poutre
+ remplissage



- 14%

Source : IFPEB

Equilibre carbone intrinsèque / opérationnel





Le Forum
Groupe Satov

4 400m²
Logements,
commerces,
stationnements

Architecte :
LT Archi

Energie
Carbone :
Studio Carbone



Source : Simulation Energétique – Studio Carbone

Climat 2024

BÂTIMENT D			
Zone thermique	Nombre d'heure d'occupation	Nombre d'heure > 28°C	% d'inconfort
Logement D101 - séjour	4 108	0	0,0%
Logement D101 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D102 - séjour	4 108	0	0,0%
Logement D102 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D102 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D103 - séjour	4 108	0	0,0%
Logement D103 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D104 - séjour	4 108	0	0,0%
Logement D104 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D104 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D105 - séjour	4 108	1	0,0%
Logement D105 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D105 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D201 - séjour	4 108	0	0,0%
Logement D201 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D202 - séjour	4 108	0	0,0%
Logement D202 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D202 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D203 - séjour	4 108	0	0,0%
Logement D203 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D204 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D204 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D204 - séjour	4 108	0	0,0%
Logement D205 - séjour	4 108	0	0,0%
Logement D205 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D205 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D301 - séjour	4 108	23	0,6%
Logement D301 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D301 - bureau	2 912	0	0,0%
Logement D301 - chambre autre 2	2 912	0	0,0%
Logement D302 - séjour	4 108	29	0,7%
Logement D302 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D302 - chambre autre	2 912	0	0,0%

Climat projeté 2040

BÂTIMENT D			
Zone thermique	Nombre d'heure d'occupation	Nombre d'heure > 28°C	% d'inconfort
Logement D101 - séjour	4 108	6	0,2%
Logement D101 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D102 - séjour	4 108	1	0,0%
Logement D102 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D102 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D103 - séjour	4 108	0	0,0%
Logement D103 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D104 - séjour	4 108	5	0,1%
Logement D104 - chambre principale	2 912	5	0,2%
Logement D104 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D105 - séjour	4 108	16	0,4%
Logement D105 - chambre principale	2 912	8	0,3%
Logement D105 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D201 - séjour	4 108	3	0,1%
Logement D201 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D202 - séjour	4 108	0	0,0%
Logement D202 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D202 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D203 - séjour	4 108	0	0,0%
Logement D203 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D204 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D204 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D204 - séjour	4 108	0	0,0%
Logement D205 - séjour	4 108	2	0,1%
Logement D205 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D205 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D301 - séjour	4 108	30	0,7%
Logement D301 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D301 - bureau	2 912	0	0,0%
Logement D301 - chambre autre 2	2 912	0	0,0%
Logement D302 - séjour	4 108	37	0,9%
Logement D302 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D302 - chambre autre	2 912	0	0,0%

Climat projeté 2070

BÂTIMENT D			
Zone thermique	Nombre d'heure d'occupation	Nombre d'heure > 28°C	% d'inconfort
Logement D101 - séjour	4 108	21	0,5%
Logement D101 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D102 - séjour	4 108	14	0,3%
Logement D102 - chambre principale	2 912	3	0,1%
Logement D102 - chambre autre	2 912	4	0,1%
Logement D103 - séjour	4 108	11	0,3%
Logement D103 - chambre principale	2 912	5	0,2%
Logement D104 - séjour	4 108	41	1,0%
Logement D104 - chambre principale	2 912	30	1,0%
Logement D104 - chambre autre	2 912	5	0,2%
Logement D105 - séjour	4 108	43	1,1%
Logement D105 - chambre principale	2 912	25	0,9%
Logement D105 - chambre autre	2 912	7	0,2%
Logement D201 - séjour	4 108	10	0,2%
Logement D201 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D202 - séjour	4 108	7	0,2%
Logement D202 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D202 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D203 - séjour	4 108	3	0,1%
Logement D203 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D204 - chambre principale	2 912	0	0,0%
Logement D204 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D204 - séjour	4 108	14	0,3%
Logement D205 - séjour	4 108	9	0,2%
Logement D205 - chambre principale	2 912	4	0,1%
Logement D205 - chambre autre	2 912	0	0,0%
Logement D301 - séjour	4 108	82	2,0%
Logement D301 - chambre principale	2 912	2	0,1%
Logement D301 - bureau	2 912	6	0,2%
Logement D301 - chambre autre 2	2 912	6	0,2%
Logement D302 - séjour	4 108	135	3,3%
Logement D302 - chambre principale	2 912	10	0,3%
Logement D302 - chambre autre	2 912	5	0,2%

Source : Simulation thermique Dynamique – Studio Carbone

Gestion de confort d'été du 1^{er} niveau

V0 = Etat initial présenté dans la partie

V1 = Mise en place d'un mur rideau à contrôle solaire très performant : TI = 0,72 ; FS = 0,38

V2 = Débord de plancher haut (terrasses R+1) de 1 m sur toute la périphérie du bâtiment

V3 = Surventilation nocturne (6000 m³/h) par bypass de l'échangeur

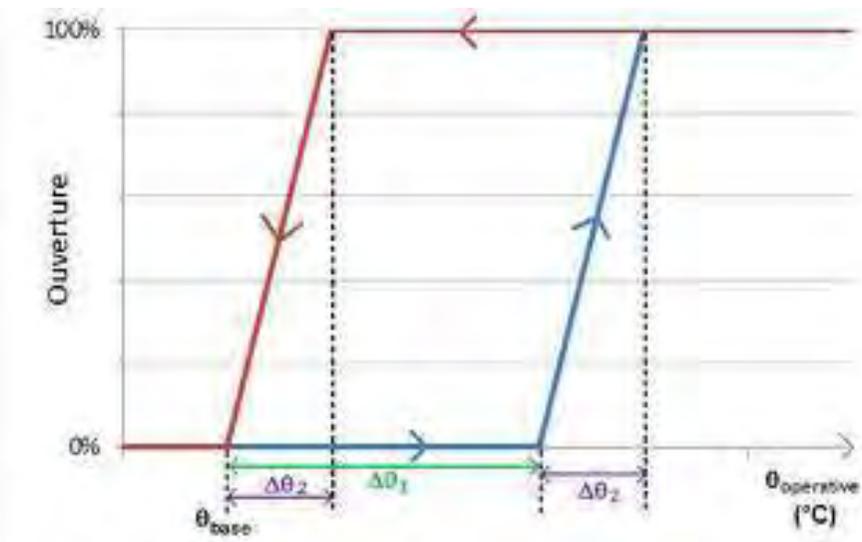
V4 = Suppression de l'isolant sous-chape et de la chape pour gagner en inertie de masse sur la zone commerce

V5 = V1 + V3 + V4

BÂTIMENT A			
Zone thermique	Nombre d'heure d'occupation	Nombre d'heure > 28°C	% d'inconfort
<i>Commerce Batiment A – V0</i>	3900	630	16,15%
<i>Commerce Batiment A – V1</i>	3900	528	13,54%
<i>Commerce Batiment A – V2</i>	3900	550	14,10%
<i>Commerce Batiment A – V3</i>	3900	421	10,79%
<i>Commerce Batiment A – V4</i>	3900	432	11,08%
<i>Commerce Batiment A – V5</i>	3900	43	1,36%

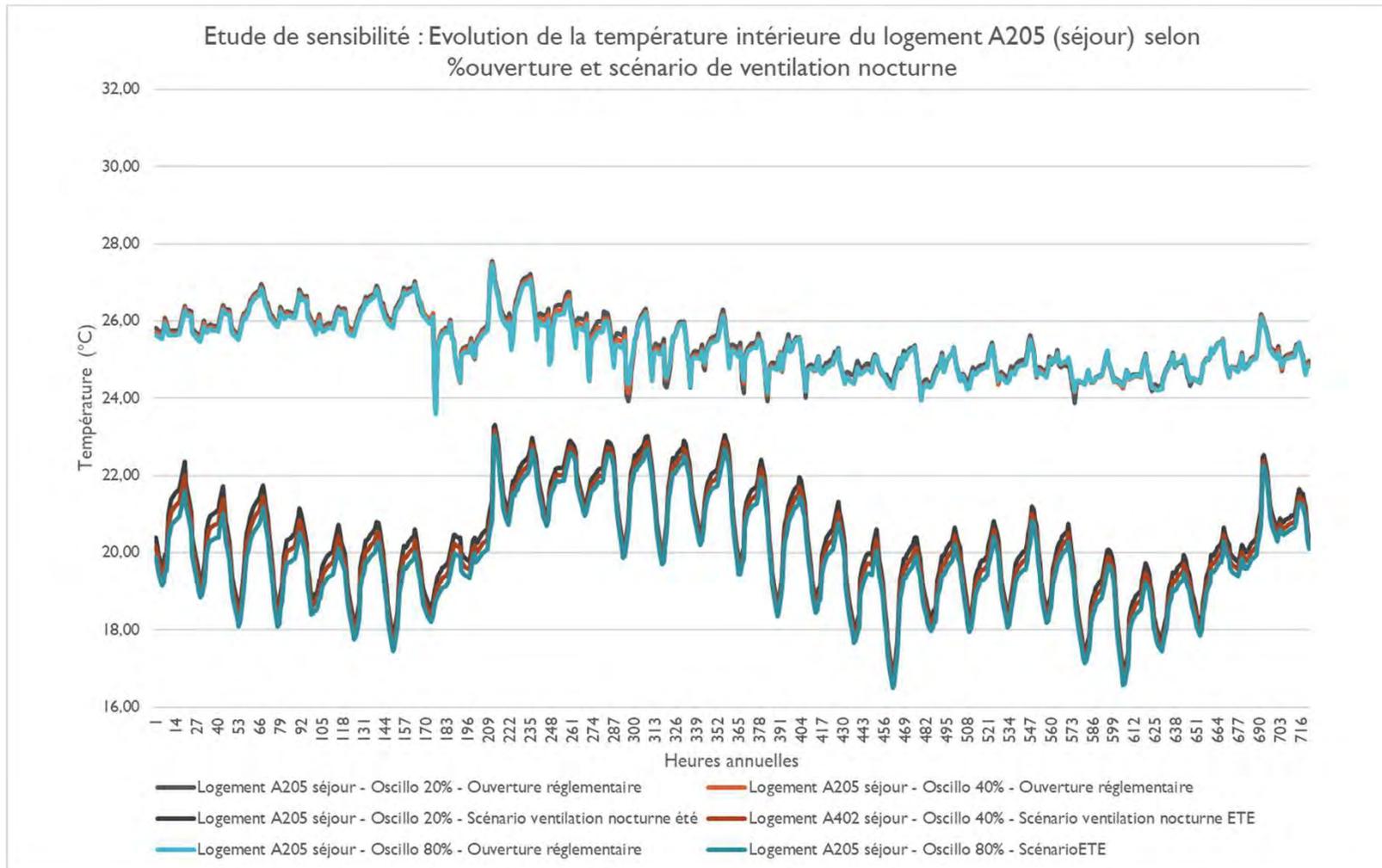
Source : Etude de sensibilité – Studio Carbone

Ventilation nocturne



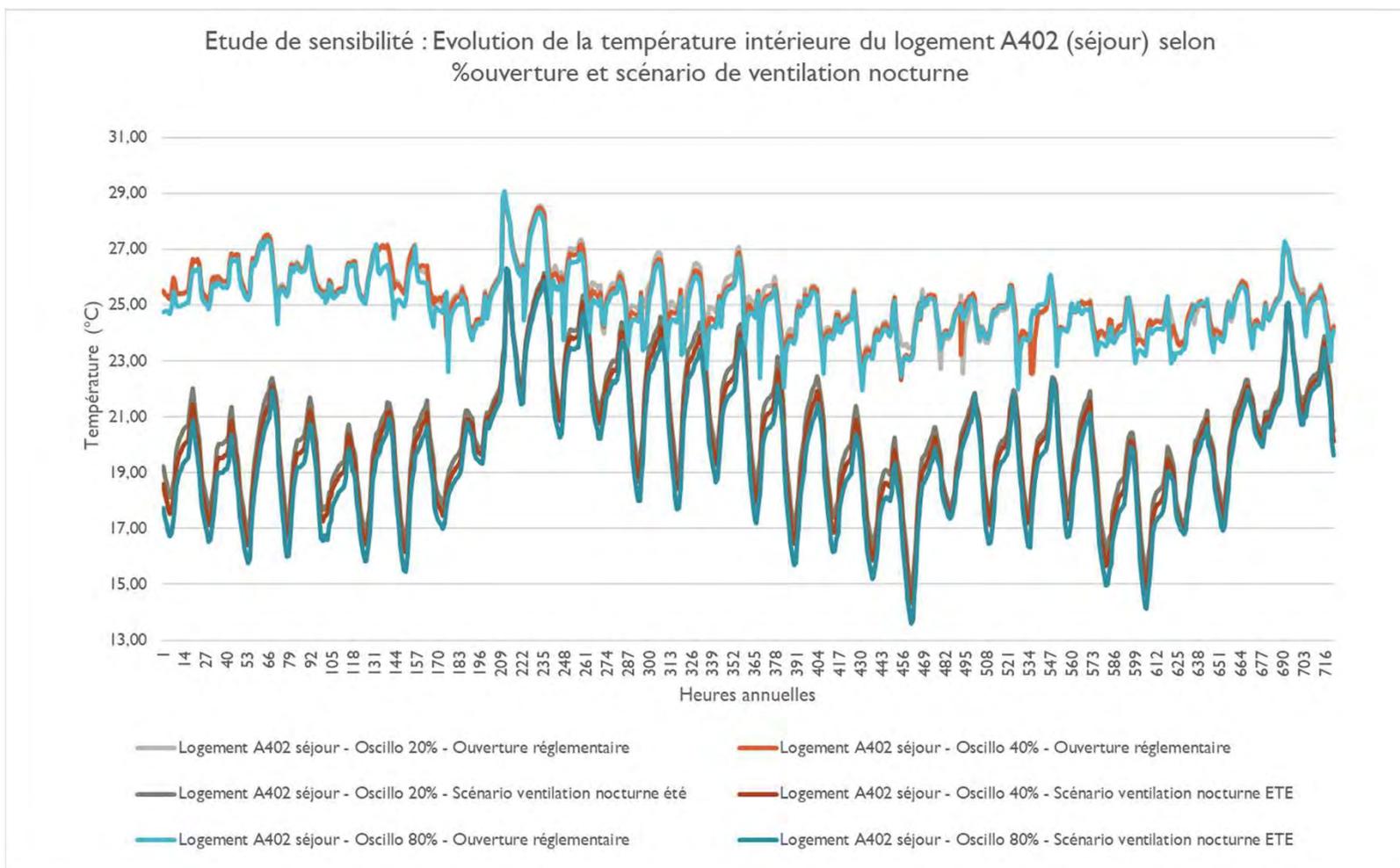
	Saison de chauffage (hiv) ou Saison mixte	Mi-saison (mis)	Saison de refroidissement (ete)
$\Delta\theta_{op,1_aut}$	3°C	3°C	3°C
$\Delta\theta_{op,2_aut}$	1°C	1°C	1°C
$\theta_{op_base_aut}$	26°C	24°C	22°C
$d\theta_{ext_int_aut}$	2°C	2°C	2°C
$\theta_{e_seul_bas_aut}$	12°C	10°C	8°C
$\theta_{e_seul_haut_aut}$	18°C	18°C	16°C

Ventilation nocturne - mono-orientée



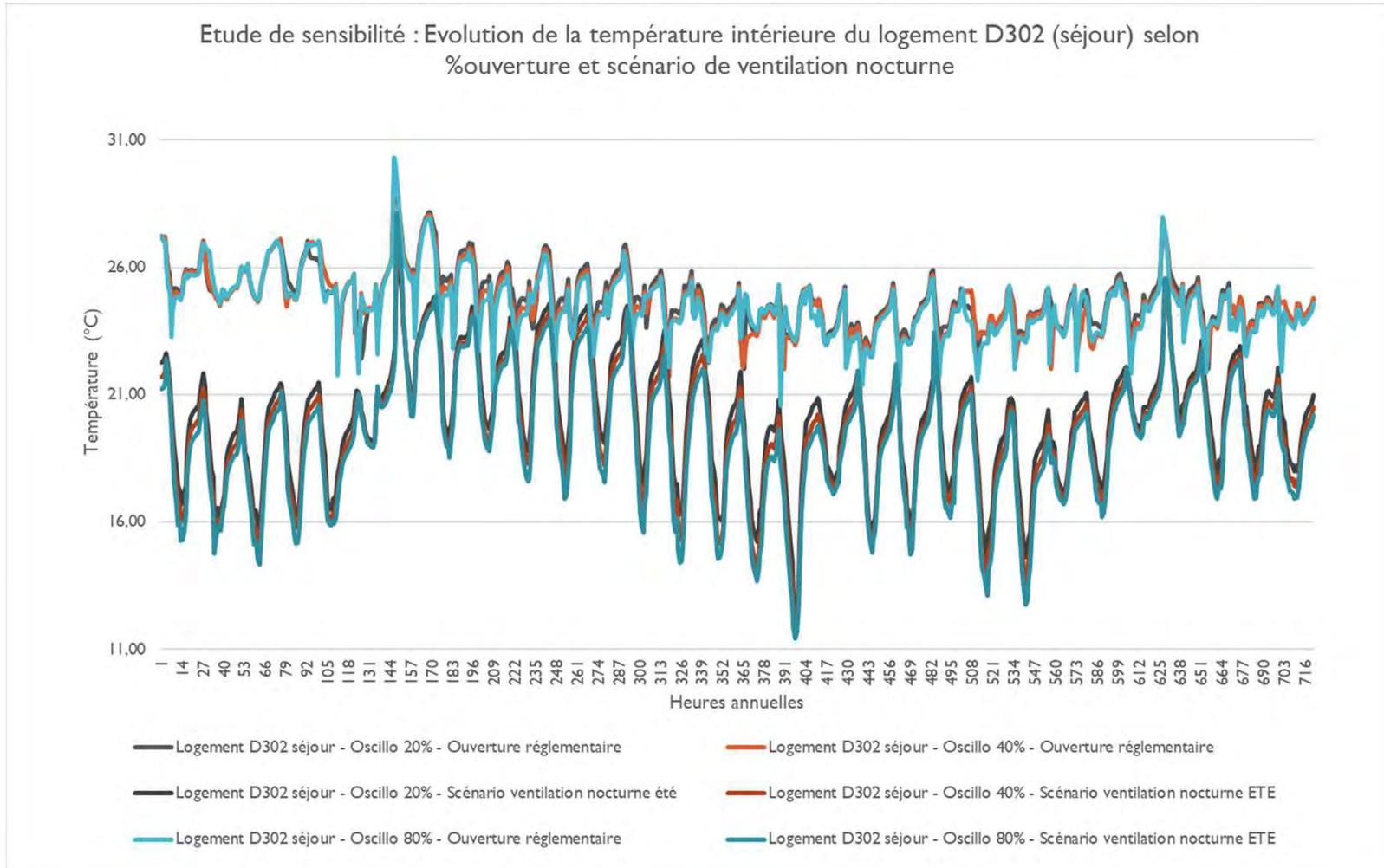
Source : Simulation Energétique, logement mono-orienté – Studio Carbone

Ventilation nocturne - bi-orientée



Source : Simulation Energétique, logement bi-orienté – Studio Carbone

Ventilation nocturne - traversante



Source : Simulation Energétique, logement traversant – Studio Carbone

Etude de cas 2 - Ecole primaire



Groupe Scolaire
George Sand

Saint-Mars-du-Désert

Architecte :
PADW

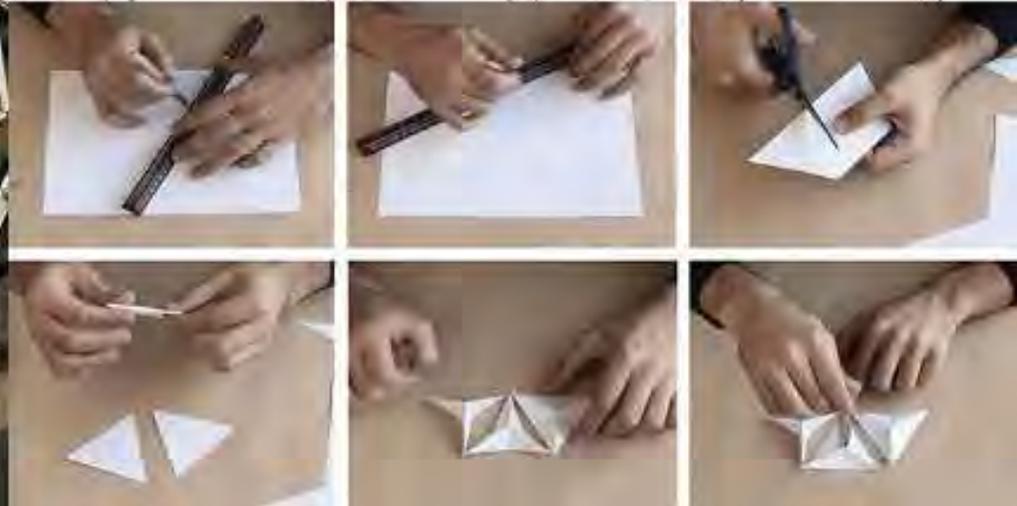
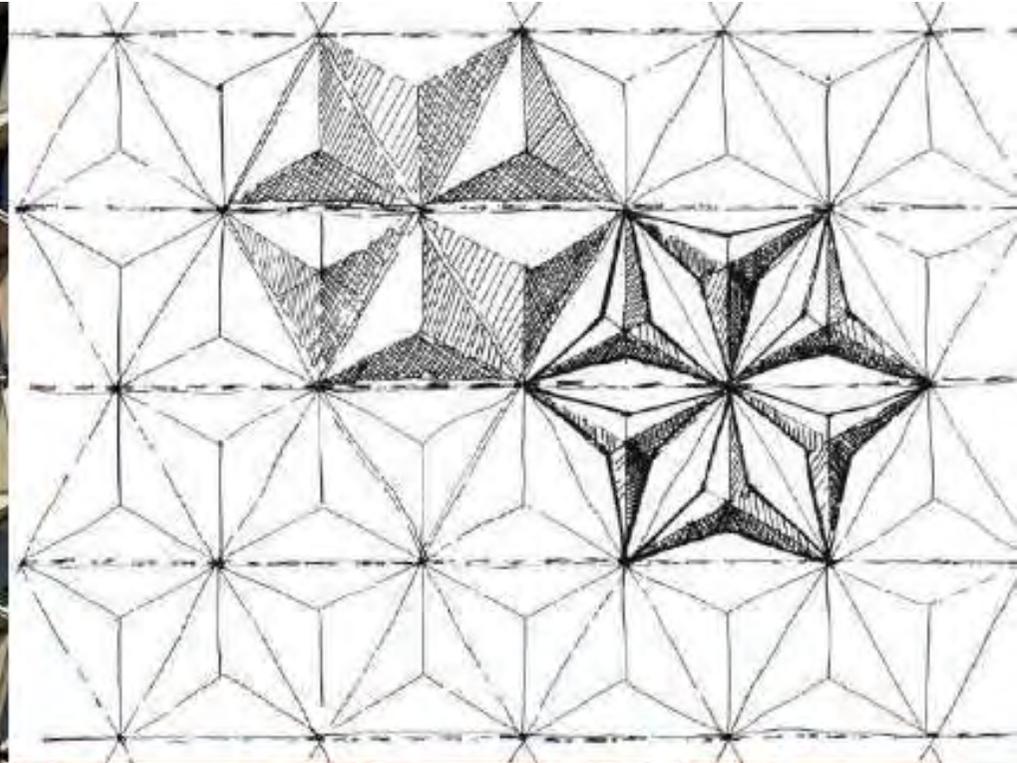
Energie Carbone :
Studio Carbone

Occultations

Enjeux :

- Conserver les apports par rayonnement l'hiver
- Diminuer le rayonnement l'été (confort d'été sans climatisation)
- Garantir le confort visuel
- Equilibrer le bilan carbone intrinsèque





Tours Al-Bahr
Architecte : Aedas



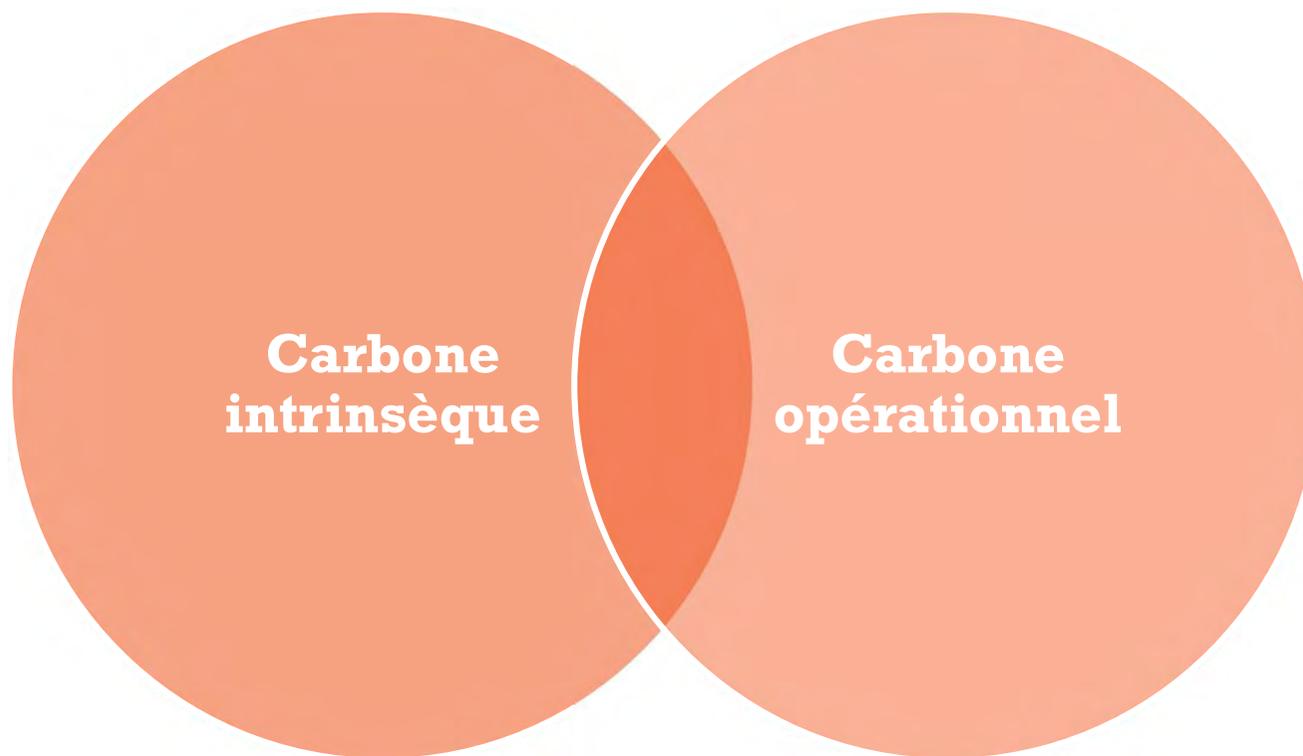


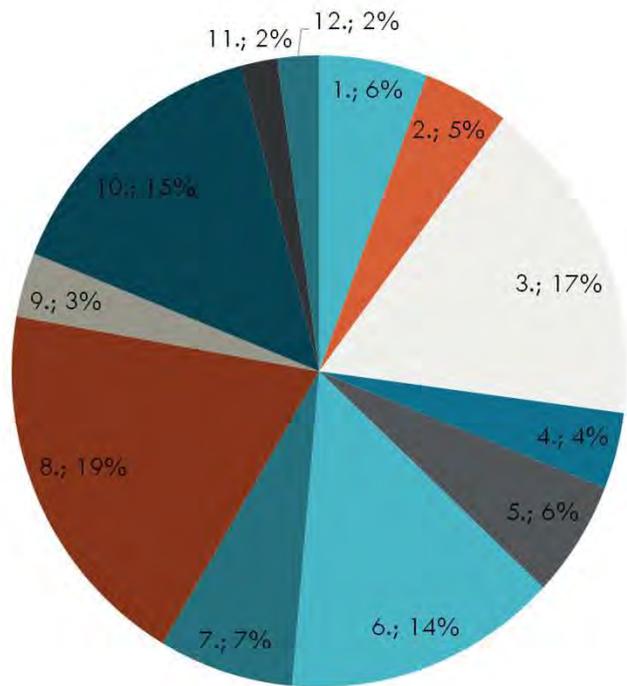
Source : Simulation Energétique – Studio Carbone

PROTECTIONS SOLAIRES

Type de protection solaire	Occultation %
Volet roulant	- En occupation estivale : 0% de 8 à 10h, 50% de 10h à l'heure de fin d'occupation de la pièce - En inoccupation estivale : 100 %
Store extérieur	- En occupation estivale : 0% de 8 à 10h, 75% de 10h à l'heure de fin d'occupation de la pièce - En inoccupation estivale : 100 %
Brise soleil orientable vertical	- En occupation estivale : 0% de 8 à 10h, 75% de 10h à l'heure de fin d'occupation de la pièce - En inoccupation estivale : 100 %
Brise solaire fixe horizontal	Les brises soleil horizontaux fixes ont été modélisés en 3D, leur occultation est donc directement déterminée par le logiciel à partir de leur géométrie

Equilibre carbone intrinsèque / opérationnel





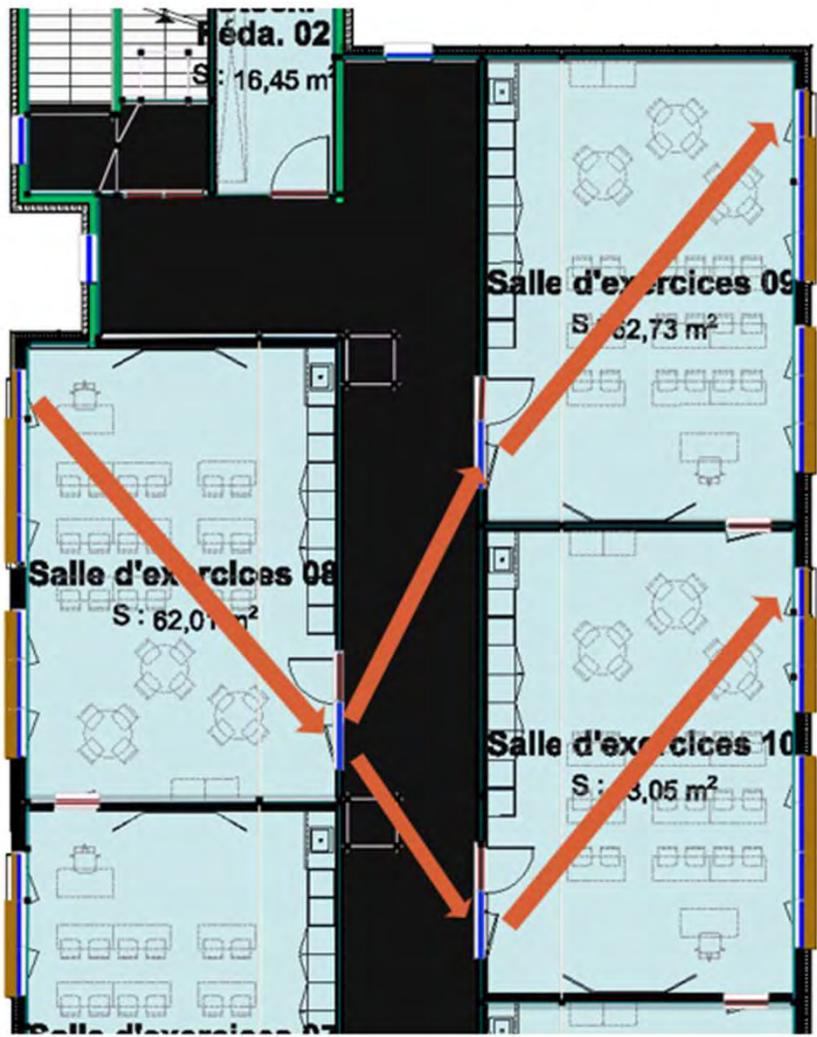
- 1. VRD (Voirie et Réseaux Divers)
- 2. Fondations et infrastructures
- 3. Superstructure - Maçonnerie
- 4. Couverture - Etanchéité - Charpente - Zinguerie
- 5. Cloisonnement - Doublage - Plafonds suspendus - Menuiseries intérieures
- 6. Façades et menuiseries extérieures
- 7. Revêtements des sols, murs et plafonds - Chape - Peintures - Produits de décoration
- 8. CVC (Chauffage - Ventilation - Refroidissement - eau chaude sanitaire)
- 9. Installations sanitaires
- 10. Réseaux d'énergie (courant fort)
- 11. Réseaux de communication (courant faible)
- 12. Appareils élévateurs et autres équipements de transport intérieur

Carbone intrinsèque :

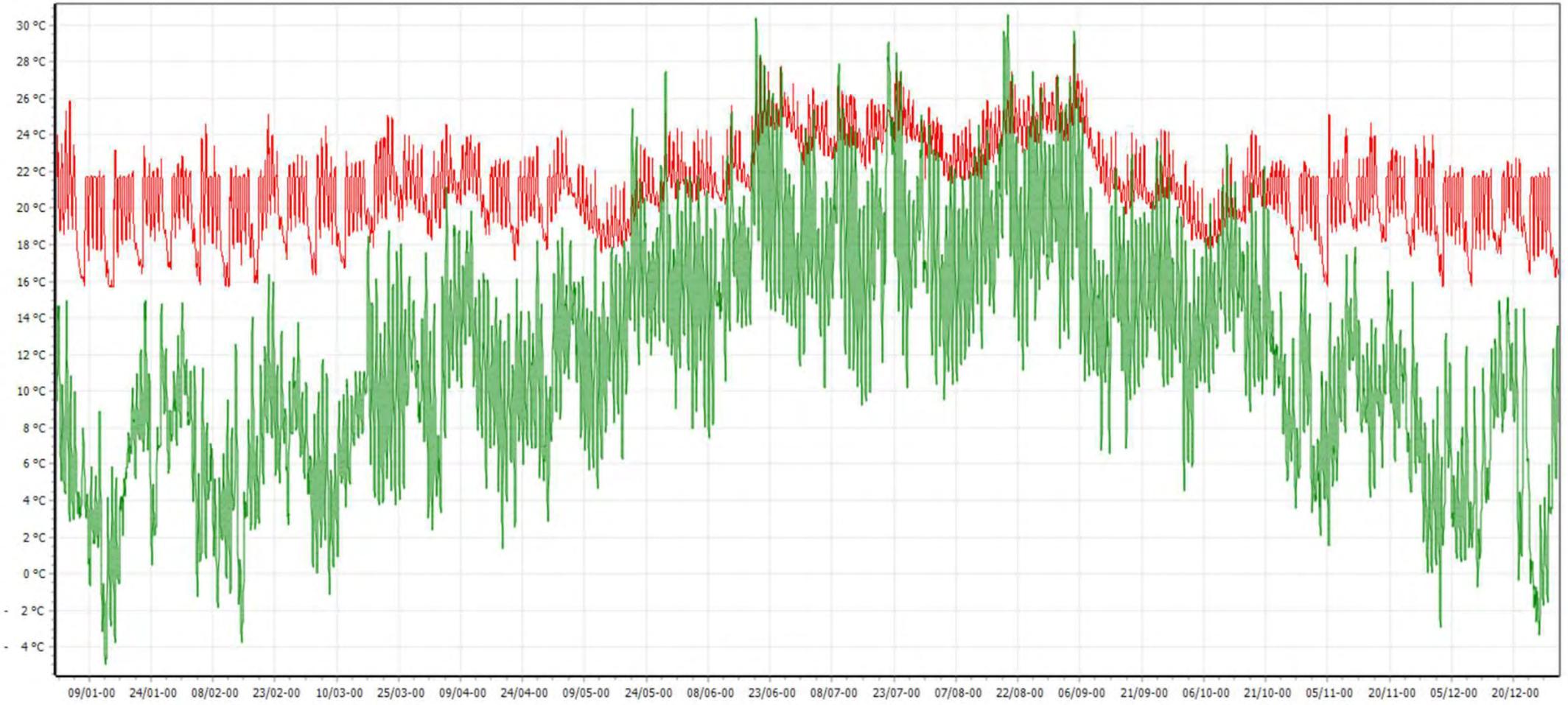
- Total : 793 kgCO₂eq/m² (6%)
- Occultations : 45 kgCO₂eq/m²
- Fluides frigorigènes évités : 63 kgCO₂eq/m²

Source : Analyse de Cycle de Vie – Studio Carbone

Surventilation passive nocturne



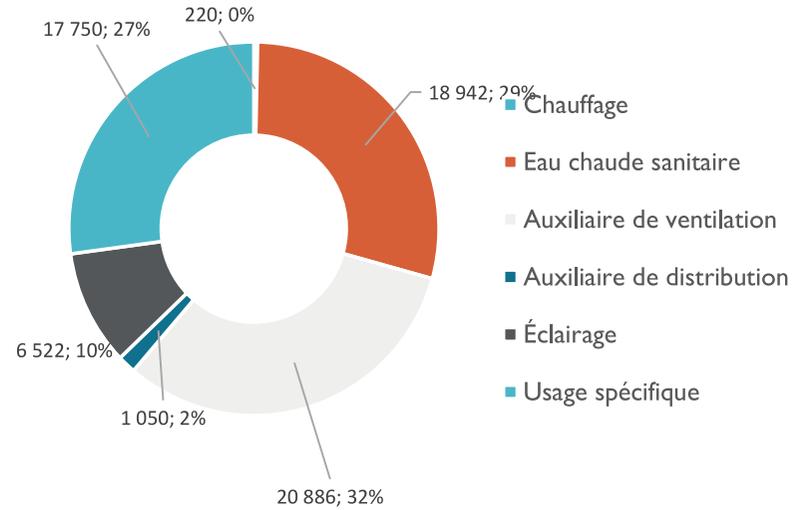
STD_Base VB/BCD Nantes - Moyen



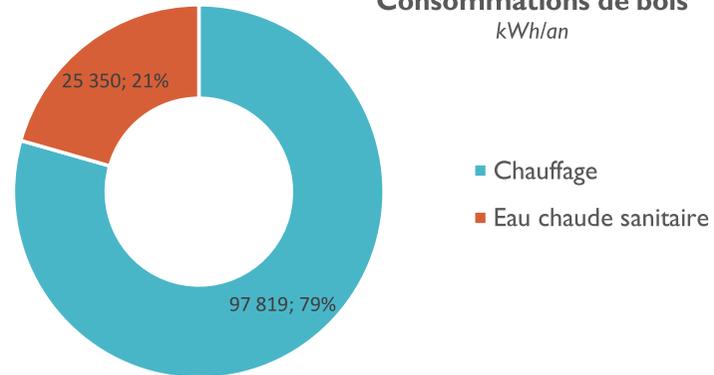
Température intérieure (centre de ressource) et extérieure
Source : Simulation Energétique Dynamique – Studio Carbone

	Bois kWh/an	Électricité kWhEF/an
Chauffage	97 819	220
Eau chaude sanitaire	25 350	18 942
Auxiliaire de ventilation		20 886
Auxiliaire de distribution		1 050
Éclairage		6 522
Usage spécifique		17 750
	123	65 370
	169	
TOTAL	40	21
	3 326	5 360
	1,09	1,75
	10 198	11 374
	3,34	3,72

Consommation d'électricité
kWhEF/an



Consommations de bois
kWh/an



Source : Simulation Energétique – Studio Carbone

Penser pour 2080 ...



**Une vision énergie carbone au
service de la conception**



Des solutions à [ré]inventer

Marika Frenette
marika@studiocarbone.ca

Célia Mailfert
celia@studiocarbone.ca

**STUDIO
CARBONE**