



Bilan Carbone du projet de PAD MédiaPark

12 Juillet 2020

Le présent rapport a été élaboré par The Shifters Belgium. The Shifters Belgium est une association de bénévoles, apolitique et basée à Bruxelles, qui appuie les travaux du Think tank “The Shift Project”, dont l’objectif est de proposer des solutions en faveur d’une économie libérée de la contrainte carbone. The Shifters Belgium mène des actions de sensibilisation du grand public aux enjeux énergie/climat et d’éclairage scientifique sur cette même thématique auprès de décideurs économiques et politiques. L’association s’appuie sur les expertises multiples et variées de ses membres, ainsi que sur les travaux de The Shift Project.

Auteurs : Olivier Aine, Jérémy Pontif, Eva Röben, Mathilde Schoenauer, Perrine Wohlfrom
Relecteurs : Antoine Biotteau, Mélissande Boyer, Quentin Lancrenon, Dominique Martin

Résumé pour décideurs

Le projet de PAD MédiaPark (l'un des 10 PAD de la région bruxelloise) ouvre la voie à des émissions supplémentaires nettes de **489 ktCO₂eq (kilotonnes équivalent CO₂) sur 30 ans, sur le périmètre d'étude.**

Ces émissions ne sont en ligne ni avec l'accord de Paris dont la Belgique est signataire ni avec l'engagement de la Région de Bruxelles-Capitale (RBC) de "se rapprocher de l'objectif européen de neutralité carbone d'ici 2050", en réduisant de 80 à 95% les émissions de GES¹ de la Région d'ici 2050.

A la lumière de ce constat, The Shifters Belgium propose **8 recommandations**, illustrées au travers d'un scénario alternatif bas carbone, dont l'application permettrait de **réduire l'empreinte carbone induite par MédiaPark sur 30 ans de 489 à 235 ktCO₂eq** tout en maintenant les objectifs principaux du projet. Par ailleurs, les résultats de cette étude suggèrent l'importance de rendre obligatoire le calcul de l'empreinte carbone pour l'ensemble des 10 PAD de la RBC avant leur adoption de manière à rendre l'urbanisme de la RBC compatible avec ses ambitions en matière de lutte contre le changement climatique.

Recommandations

1. Rénover les bâtiments existants du site MédiaPark, quand cela est faisable, plutôt que de détruire et d'en reconstruire
2. Réhabiliter les bâtiments vacants à proximité immédiate de MédiaPark et les inclure dans le PAD
3. Viser une efficacité énergétique au standard "bâtiment passif premium" pour la construction comme pour la rénovation
4. Conserver la forêt et rendre non-constructible le terrain qu'elle occupe sur le site.
5. Limiter le gabarit des nouvelles constructions à 30 mètres de hauteur pour permettre de construire en bois et réduire l'empreinte carbone de la construction
6. Rendre obligatoire la réalisation des nouvelles constructions en bois
7. Rendre obligatoire la pose de panneaux photovoltaïques sur l'ensemble de la surface construite (hors conflits d'usage)
8. Densifier en priorité les zones proches de transports en commun

¹ Gaz à Effet de Serre

Sommaire

Résumé pour décideurs	1
Sommaire	2
1. Introduction	3
2. Présentation du Projet MédiaPark	4
3. Méthodologie	5
3.1. Scénario 1 : projet de PAD actuel	5
3.2. Scénario 2 : alternative bas carbone	5
3.3. Approche utilisée pour le calcul du bilan carbone	6
4. Le bilan carbone du PAD MédiaPark	8
4.1. Emissions directes des sources fixes de combustion	8
4.2. Emissions issues de la biomasse	9
4.3. Émissions de la consommation électrique en fonction de la surface photovoltaïque	10
4.4. Immobilisation des biens	10
5. Compatibilité du PAD avec les engagements climatiques de la RBC	11
6. Recommandations	12
7. Annexes	14
Annexe 1 : Hypothèses pour le scénario MédiaPark	14
Annexe 2 : détail de la réalisation du scénario alternatif bas carbone	16
Annexe 3 : Outil utilisé pour le calcul du bilan carbone de la construction du MédiaPark	18
Annexe 4 : Outils utilisés pour le calcul du bilan carbone de la rénovation des bâtiments existants	25
Annexe 5 : Méthodologie et périmètre de l'étude	26
Annexe 6 : Détails du bilan carbone	29
Annexe 7 : Détails sur la conservation de la forêt urbaine	31
Annexe 8 : Détails des calculs des panneaux photovoltaïques et consommation électrique	35
Annexe 9 : Détails sur la construction en bois	38

1. Introduction

Pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris, le conseil de l'Union Européenne (sauf la Pologne) s'est accordé sur l'objectif d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050². Dans son Plan Energie Climat, la Région de Bruxelles Capitale (RBC) décline cet accord en un engagement de "se rapprocher de l'objectif européen de neutralité carbone d'ici 2050", via la diminution de 80 à 95% de ses émissions de GES dans le même horizon temporel. Pour réussir ce défi, **le secteur du bâtiment, qui représente 61% des émissions de CO₂ territoriales de la RBC³, est en première ligne.**

Dans son Plan Régional de Développement Durable, validé en 2018, la RBC définit 10 pôles d'aménagements prioritaires. Chacun de ces pôles fait l'objet d'un Plan d'Aménagement Directeur (PAD). **Ces PAD ont un pouvoir coercitif** sur les futurs porteurs de projet urbain sur les pôles en question. Pour le meilleur ou pour le pire, **ils verrouillent pour 30 à 50 ans les émissions de GES de la zone aménagée**, qui s'empilent aux émissions directement engendrées par la construction. **Par conséquent, ils constituent une opportunité de faire des choix structurants et impactant pour permettre à la RBC d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.**

Faire les bons choix requiert de prendre en compte l'empreinte carbone des PAD au moment de leur conception. Ces choix peuvent en effet avoir un impact significatif sur le volume des émissions de CO₂ de la RBC, comme nous allons le voir. Or, dans leur version actuelle, aucun PAD n'est associé à la quantification des émissions de gaz à effet de serre anthropiques que sa mise en application générera. Le PAD MédiaPark, qui vise au redéveloppement du site de la VRT et de la RTBF à Reyers, ne fait pas exception.

Dès lors, comment savoir si le PAD MédiaPark est compatible avec les objectifs climatiques de la RBC ?

Pour alimenter les réflexions des parties prenantes du PAD MédiaPark et éclairer leur prise de décision au regard des enjeux climatiques, *The Shifters Belgium* propose une évaluation de l'empreinte carbone du PAD MédiaPark. Le bilan carbone ainsi réalisé vient compléter le rapport d'incidences environnementales (RIE)⁴ publié en avril 2019. Il est accompagné d'un scénario alternatif illustrant les recommandations qui permettraient de réduire l'empreinte carbone du projet afin de le rendre compatible avec les objectifs climatiques de la RBC. Cette démarche pourra par la suite être répliquée sur les autres PAD. Le présent rapport ne traite pas directement de l'adaptation aux changements climatiques. Cependant, le scénario alternatif proposé tient compte de cet enjeu.

Le présent rapport est écrit par des bénévoles. Il n'inclut ni évaluation financière ni étude de faisabilité technique ou urbanistique du scénario alternatif bas carbone. Il est basé sur un ensemble d'hypothèses définies à partir des éléments accessibles au grand public. Il a pour but d'alimenter le débat afin d'encourager à la réalisation d'une étude technico-économique plus approfondie qui permettra de prendre réellement en compte de l'impact climatique dans la conception du projet. *The Shifters Belgium* pourra fournir les feuilles de calcul sur demande.

² <https://op.europa.eu/fr/publication-detail/-/publication/92f6d5bc-76bc-11e9-9f05-01aa75ed71a1>

³ Bruxelles Environnement - Bruxelles Bas Carbone 2050 - Tous acteurs de la transition

⁴ https://perspective.brussels/sites/default/files/documents/rie_mediapark_complet_fr.pdf

2. Présentation du Projet MédiaPark

Le projet MédiaPark vise au renouvellement de la cité audiovisuelle de la RTBF/ VRT située boulevard Reyers à Schaerbeek.

Les bâtiments actuels de la VRT et de la RTBF ont été construits entre 1964 et 1978 sur ce terrain de 19 ha, à l'emplacement de l'ancien Tir National.

En 2008, la région élabore un Schéma directeur pour la zone stratégique « Reyers » (en vert sur la carte) en associant la RTBF et la VRT.

En 2013, la RTBF et la VRT, qui avait envisagé de quitter Bruxelles, ont décidé de construire leurs nouveaux sièges respectifs, séparés cette fois mais toujours voisins, à proximité immédiate de leurs locaux actuels du boulevard Reyers. Ceci dans le cadre d'un remembrement de leurs terrains, qui leur permettrait de s'ouvrir sur les quartiers voisins et de recréer des liens entre ceux-ci.⁵

En avril 2019, un projet de PAD MédiaPark est soumis à une consultation publique.

La présente étude se base sur le projet de PAD MédiaPark et vise à éclairer la prise de décision concernant celui-ci.

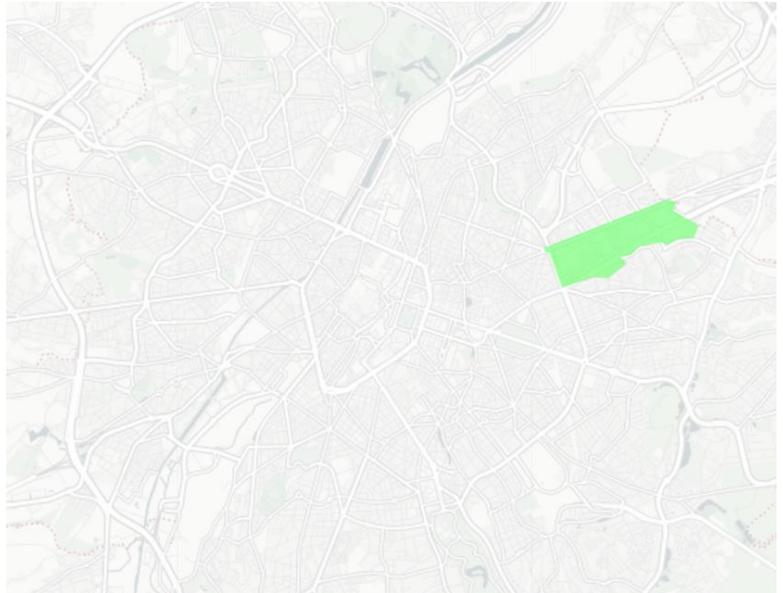


Figure 1 pôle stratégique Meyers

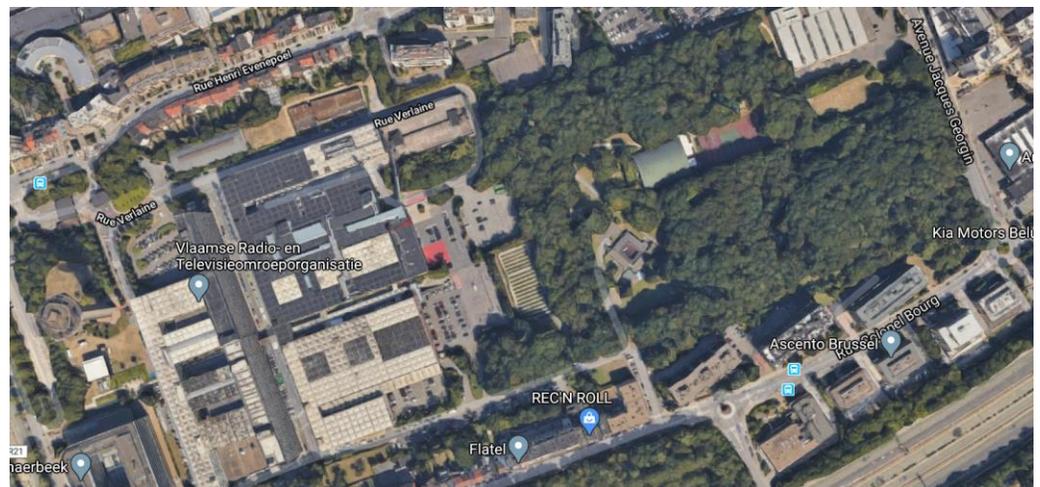


Figure 2 Vue satellite de MédiaPark

⁵ <http://www.mediapark.brussels/fr/zones-strategiques/histoire>

3. Méthodologie

Pour réaliser le bilan carbone du PAD Médiapark, nous avons considéré deux scénarios à surface constante (373 000 m²).

3.1. Scénario 1 : projet de PAD actuel

Réalisation du Médiapark tel que décrit dans le projet de PAD et dans le RIE qui l'accompagne, avec une approche usuelle. Les lots étant confiés à des promoteurs privés, nous considérons une maximisation des bénéfices économiques tout en respectant les règles environnementales dans la législation actuelle⁶.



Figure 3 Schéma des blocs du projet de PAD

3.2. Scénario 2 : alternative bas carbone

Pour élaborer un scénario alternatif bas-carbone compatible avec les ambitions climatiques de la RBC, nous nous sommes basés sur le RIE et sur les retours de la consultation publique⁷. Nous avons procédé par itération pour construire un scénario minimisant l'impact carbone et environnemental, présenté en détail dans l'Annexe 2. **Ce scénario illustre nos recommandations, tout en conservant la fonctionnalité du Médiapark, à savoir un pôle média ouvert.**

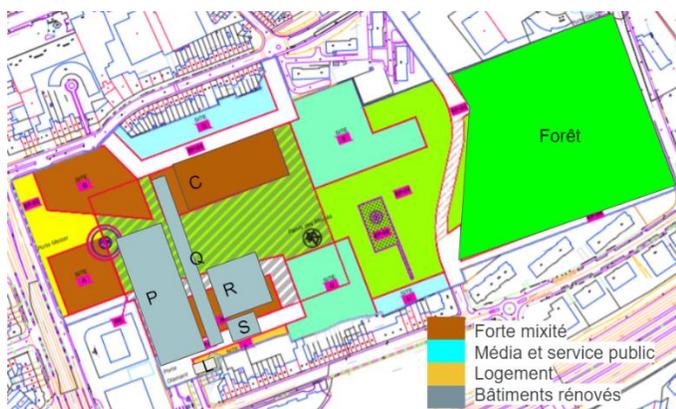


Figure 4 Schéma des blocs du scénario alternatif bas carbone

⁶ Source : Cartes du Plan d'Aménagement Directeur du projet Médiapark

⁷ Avis réponse du Comité de quartier Médiapark à l'enquête publique du PAD Médiapark

3.3. Approche utilisée pour le calcul du bilan carbone

Pour calculer le bilan carbone, nous avons choisi d'utiliser la norme ISO 14064-1. Cette norme méthodologique classique permet de concevoir et développer des inventaires de GES⁸.

Pour cela nous avons déterminé :

- Le périmètre organisationnel et opérationnel
- Les postes d'émissions
- Les données à utiliser

Le périmètre organisationnel et opérationnel du présent bilan carbone se constitue de l'ensemble des émissions induites et orientables du projet de PAD MédiaPark sur la zone géographique de MédiaPark⁹ et sur une durée de 30 ans. Induite signifie que ces émissions n'ont lieu que si le PAD est décidé. Orientable signifie que des décisions sur le PAD peuvent avoir un impact sur les émissions de GES en question.

Nous avons ensuite estimé les catégories d'émissions orientables les plus significatives dans le cadre du projet de PAD : destruction, construction, rénovation, consommation énergétique des bâtiments, changement d'affectation (ou non) d'une zone boisée. Nous avons ensuite chiffré chacune de ces émissions pour les 2 scénarios.

En particulier, voici le tableau des postes d'émissions que nous utilisons dans ce bilan carbone :

Tableau 1 - Postes d'émissions considérés

Catégories d'émissions	n°	Postes	Description dans le cas du présent rapport
SCOPE 1 Emissions directes de GES	1	Emissions directes des sources fixes de combustion	Consommation énergétique sur 30 ans de l'utilisation des bâtiments (chauffage, Eau Chaude Sanitaire (ECS), etc.)
	5	Emissions issues de la biomasse (sols et forêts)	Conservation ou changement d'affectation de la forêt du site MédiaPark

⁸ bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/contenu/index/page/bilan%2Bges%2Borganisation/siGras/1

⁹ Nous incluons également les bâtiments inoccupés à proximité immédiate du site tels qu'identifiés par l'étude du comité de quartier MédiaPark.

<p>SCOPE 2</p> <p>Emissions indirectes associées à l'énergie</p>	6	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	Émissions économisées grâce au photovoltaïque
<p>SCOPE 3</p> <p>Autres émissions indirectes de GES</p>	10	Immobilisation des biens	Destruction de bâtiments existants
			Construction de nouveaux bâtiments
			Réhabilitation/rénovation énergétique de bâtiments existants

Les données utilisées sont issues du projet de PAD MédiaPark pour le scénario 1 et des hypothèses de construction pour le scénario 2. Les facteurs d'émissions sont tirés d'outils d'usage libre, qui tiennent compte, autant que possible, des facteurs d'émission belges : L'outil TOTEM¹⁰, l'étude de l'OVAM concernant la rénovation de bâtiments¹¹, Woodland Carbon Code¹² et la base carbone de l'ADEME.

L'outil TOTEM utilisé pour calculer le bilan carbone de la construction de bâtiment est présenté dans l'annexe 3. L'étude de l'OVAM décrivant la rénovation énergétique de bâtiment est décrite dans l'annexe 4. Les détails des hypothèses des scénarios sont en annexes 1 et 2. La méthodologie de calcul du bilan carbone de ce rapport (scénarios 1 et 2) est détaillée dans l'annexe 5. Le détail du calcul du bilan carbone pour les scénarios 1 et 2 est présenté en annexe 6, 7, 8 et 9.

¹⁰ www.totem-building.be

¹¹ THE IMPACT OF MATERIALS NEEDED FOR RENOVATION AND NEW HOUSING, A GLOBAL ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF THE POLICY ACTIONS IN THE FLEMISH CLIMATE POLICY PLAN, 2020, www.ovam.be

¹² www.woodlandcarboncode.uk

4. Le bilan carbone du PAD MédiaPark

Le tableau ci-dessous constitue une synthèse du bilan carbone des deux scénarios pour le PAD MédiaPark. Le détail des calculs peut être consulté en annexe.

Tableaux 2 - Synthèse du bilan carbone du projet de PAD MédiaPark

Postes	Domaines	Projet PAD MédiaPark (tCO ₂ eq)	Alternative bas carbone (tCO ₂ eq)
Emissions directes des sources fixes de combustion	Consommation énergétique sur 30 ans de l'utilisation des bâtiments (chauffage, ECS, etc.)	146 542	123 986
Emissions issues de la biomasse (sols et forêts)	Conservation ou changement d'affectation de la forêt du site MédiaPark	9 439	-1 408
Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	Emissions de la consommation électrique en fonction de la surface photovoltaïque	85 493	39 013
Immobilisation des biens	Destruction de bâtiments existants	2 513	199
	Réhabilitation/rénovation énergétique de bâtiments existants	0	15 074
	Construction de nouveaux bâtiments	235 522	53 684
	Fin de vie nouveaux bâtiments	9 768	4 707
Total		489 277	235 255

4.1. Emissions directes des sources fixes de combustion

PAD MédiaPark

Dans le projet de PAD MédiaPark, les bâtiments construits sont aux normes requises par le Diagnostic de Performance Energétique (DPE).

Avec les matériaux choisis dans l'outil TOTEM, nous arrivons à une consommation moyenne annuelle de **30,23 kWh/m²¹³** pour le chauffage.

Scénario alternatif

Les nouvelles constructions sont conformes aux normes « bâtiment passif premium » : en Belgique, un bâtiment passif premium doit avoir un besoin net en énergies de 15 kWh/(m²*an) et une consommation additionnelle d'énergie primaires renouvelables pour le chauffage inférieur ou égal à 30 kWh/(m²*an)¹⁴. Pour les nouvelles constructions (sites A-E, O) essentiellement en bois, la consommation calculée d'énergie pour le chauffage est **23,36 kWh/(m².an)**

Certains bâtiments de MédiaPark (P, Q, R, S) sont conservés et subissent une rénovation énergétique. Un surplus de 441 réhabilitations énergétiques est effectué dans les bâtiments vacants à proximité immédiate de MédiaPark. Les rénovations énergétiques atteignent la norme « passif premium »¹⁵, compatible E30. En particulier, ils sont drastiquement isolés et sont dotés de pompes à chaleur, leur besoin énergétique en chauffage est de **9,8 kWh/(m².an)** (voir annexe 4).

4.2. Emissions issues de la biomasse

PAD MédiaPark

Le projet de PAD MédiaPark prévoit la destruction des 8,9 ha de forêt sur le site, au profit d'un nouveau parc urbain minéralisé peu boisé. Le projet ne prévoit de conserver qu'une poignée d'arbres remarquables¹⁶ ainsi qu'une bande de verdure au milieu du parc. L'abattage de la forêt fait sortir du périmètre de MédiaPark le carbone contenu dans les arbres abattus.

Il en résulte une perte de 9 439 tCO₂eq que nous estimons actuellement stockés dans la forêt.

Scénario alternatif

Dans le scénario alternatif, l'entièreté de la forêt est conservée et même étendue sur l'emplacement du site T. La forêt est gérée selon des principes de gestion forestière durable, visant le maintien de la biodiversité et l'augmentation de la résilience face au dérèglement climatique. Le scénario alternatif prévoit aussi de rendre accessible la forêt urbaine aux habitants du quartier.

Ainsi, la forêt urbaine stockerait, au cours des 30 années qui viennent, 1 410 tCO₂eq additionnelles aux 9 439 tonnes déjà stockées.

¹³ Avec 0,23 kgCO₂eq/kWh pour le gaz naturel.

¹⁴ La raison pour laquelle la performance énergétique semble inférieure pour les nouvelles constructions en bois est le choix de l'isolation en matelas de fibre de bois.

¹⁵ Voir : <https://www.maisonpassive.be/?Les-criteres-du-passif>

¹⁶ Arbres repérés pour diverses particularités, qui relèvent d'un patrimoine pour leur rareté, position, âge, etc.

4.3. Émissions de la consommation électrique en fonction de la surface photovoltaïque

PAD MédiaPark

Pour les deux scénarios, nous considérons une consommation d'électricité de 27kWh/m². Pour le projet de PAD MédiaPark, aucune obligation de pose de panneaux photovoltaïque n'est prévue. Nous avons donc estimé la surface installée sur l'ensemble des bâtiments prévus dans MédiaPark au prorata de ce qui est prévu pour le nouveau bâtiment de la RTBF (bâtiment O). Le reste de l'électricité provient du réseau.

On obtient ainsi 85 493 tCO₂eq émises sur 30 ans.

Scénario alternatif

Dans le scénario alternatif, nous considérons que chaque toiture est conçue pour optimiser la pose de panneaux photovoltaïques. La moitié de la surface brute de toiture est ainsi recouverte de panneaux photovoltaïques. En outre, les façades dont l'orientation et les contraintes techniques le permettent sont aussi recouvertes de panneaux photovoltaïques.

Il en résulte des émissions abaissées à 39 013 tCO₂eq sur 30 ans.

4.4. Immobilisation des biens

PAD MédiaPark

Le projet de PAD MédiaPark prévoit la destruction de la totalité des bâtiments formant actuellement la cité audiovisuelle RTBF/ VRT, pour laisser place à 14 nouveaux bâtiments ainsi qu'un grand parking souterrain. Seule la Tour Reyers serait conservée, en tant que point de repère iconique.

Les émissions de CO₂ liées à la démolition et à la construction de ces nouveaux bâtiments sont estimées à 247 803 tCO₂eq.

Scénario alternatif

Dans le scénario alternatif, les bâtiments à l'intérieur de la forêt urbaine ne seront pas construits (G, H, I, J, et K). Les bâtiments A, B, C, D, E et O¹⁷ sont construits en bois. Les bâtiments S, P, Q, R sont rénovés (utilisation mixte de logements et de bureaux) selon le standard « passif premium ». Pour compenser partiellement l'absence de construction de bâtiments dans la forêt, 441 logements supplémentaire¹⁸ à proximité immédiate du site MédiaPark¹⁹ sont réhabilités et rénovés énergétiquement. Le site T (VRT Logistiek) sera démoli en faveur de l'extension de la forêt urbaine.

Avec ce scénario, l'empreinte carbone des bâtiments (démolition, construction, rénovation, fin de vie) est réduite à 77 664 tCO₂eq.

¹⁷ En supposant pour le bâtiment O que le permis d'urbanisme accordé puisse être modifié.

¹⁸ Supplémentaires par rapport au rythme de rénovation actuel, à savoir moins de 1% des logements par an : https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/strategie_reno_fr.pdf

¹⁹ Sur les 1400 logements disponibles à rénover à proximité immédiate d'après l'étude du comité de quartier MédiaPark.

5. Compatibilité du PAD avec les engagements climatiques de la RBC

De manière à recontextualiser le PAD dans un contexte de lutte contre le changement climatique en RBC, nous l'avons étudié au regard d'une liste (non-exhaustive) d'engagements et objectifs définis par la RBC pour atteindre la neutralité carbone. Le tableau ci-dessous, qui reprend ces objectifs, fait nettement ressortir l'incompatibilité du PAD avec ces derniers.

Tableau 3 - Compatibilité du PAD avec les objectifs et engagements de la RBC

Engagements de la RBC en matière de lutte contre les changements climatiques (liste non-exhaustive)		Compatibilité des scénarios	
Document de référence	Engagements	Projet PAD MédiaPark	Alternative bas carbone
Plan National Energie Climat	Pour 2030 [...] réduction de 40 % des émissions directes (de Bruxelles – Capitale) dans le secteur non-ETS.	X	V
Plan Energie Climat RBC	La démolition doit rester une mesure tout à fait exceptionnelle [...] elle ne peut être autorisée que si elle est conçue comme une source de matériaux, et non de déchets (page 49)	X	V
	Planifier et rendre opérationnels les pôles de développement prioritaires (ndlr : PAD) [...] dans le respect des objectifs climatiques (page 63)	X	V
Bruxelles Bas Carbone 2050 – Bruxelles Environnement	Réduction de 80 à 95% des émissions de GES de la RBC à horizon 2050	X	V
Stratégie de réduction de l'impact environnemental du bâti existant en RBC aux Horizons 2030 – 2050	Utilisation du référentiel bâtiment durable obligatoire pour comparer des variantes à un projet initial sous l'angle de la durabilité (Fiche action n°2, Mesure unique)	X	V
	Détermination et imposition aux projets publics de seuils minimaux de performance pour les thèmes prioritaires (dont matériaux) (Fiche action n°2, Objectif période 1)	X	V
	Obligation d'élaborer un plan de rénovation du bâti existant en cas de permis d'urbanisme requérant le concours d'un architecte (Fiche action n°14, Mesure 2)	X	V
Bruxelles Environnement	Imposer des critères de conception circulaire / adaptabilité pour les projets immobiliers (Fiche action n°31, Mesure 3)	X	V
	Quantifier le coût environnemental global d'une démolition / reconstruction vs. Une rénovation (Fiche action n°33, Mesure 2)	X	V

6. Recommandations

Au-delà du chiffrage carbone du projet de PAD MédiaPark, cette étude a mis en lumière les recommandations suivantes qui permettraient de réduire l'impact climatique du projet.

1. Rénover les bâtiments existants du site MédiaPark, quand cela est faisable, plutôt que de détruire et d'en reconstruire

Selon notre étude, la destruction des bâtiments existants puis reconstruction d'un bâtiment neuf est toujours plus émettrice de CO₂ quand on le compare à une rénovation énergétique aux normes passives premium. Nous recommandons donc de privilégier la rénovation énergétique des bâtiments existants du site MédiaPark dans le scénario de PAD.

2. Réhabiliter les bâtiments vacants à proximité immédiate de MédiaPark et les inclure dans le PAD

Le comité de quartier MédiaPark a identifié 18 bâtiments représentant un potentiel de 1400 logements à proximité de la zone considérée pour le PAD MédiaPark. Nous recommandons d'inclure une partie de ces bâtiments dans le PAD MédiaPark pour diminuer la surface construite sur le site MédiaPark actuel. Nous recommandons d'accélérer la cadence de rénovation des bâtiments vacants comme promu par Bruxelles Environnement dans sa stratégie pour atteindre la neutralité carbone en 2050.

3. Viser une efficacité énergétique au standard "bâtiment passif premium" pour la construction comme pour la rénovation

Pour les constructions neuves, nous recommandons de viser une efficacité énergétique au standard "bâtiment passif premium" (15 kWh/m²an de besoin net énergétique).

Pour la rénovation, nous recommandons de réaliser des rénovations énergétiques complètes pour atteindre le standard "bâtiment passif premium", condition à laquelle il devient intéressant de rénover. Par ailleurs, nous recommandons de privilégier les pompes à chaleur plutôt que les chaudières utilisant des énergies fossiles pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments. L'installation de panneaux thermo solaires peut également venir en complément.

4. Conserver la forêt et rendre non-constructible le terrain qu'elle occupe sur le site.

La forêt est un puits carbone naturel et essentiel qui doit être préservé. En outre, l'allongement et l'intensification progressive des périodes caniculaires invite à porter une attention particulière à la préservation des îlots de fraîcheur. Enfin la forêt est une composante essentielle de la biodiversité locale, la détruire aurait-elle vraiment un sens dans le contexte d'extinction massive actuelle de la biodiversité ?

5. Limiter le gabarit des nouvelles constructions à 30 mètres de hauteur pour permettre de construire en bois et réduire l'empreinte carbone de la construction

Limiter les nouvelles constructions à 30m de hauteur permet un double gain : les bâtiments de basse et moyenne hauteur ont un moindre coût énergétique que les bâtiments hauts ; et leur construction est techniquement réalisable en bois.

La plus haute construction en bois du Benelux est un bâtiment en cours de construction à Liège. Ce bâtiment mesure 30 mètres de haut. En prenant pour hypothèse que les techniques et savoir-faire permettant de construire un bâtiment d'un gabarit supérieur à 30 mètres de hauteur sont inexistantes en Belgique et de manière à favoriser la pénétration de ce matériau dans les futures constructions sur la zone, nous préconisons donc de limiter le gabarit à 30 mètres de hauteur.

6. Rendre obligatoire la réalisation des nouvelles constructions en bois

A l'échelle européenne, The Shift Project recommande "d'augmenter de 100 Mm³ ebr²⁰ la quantité annuelle de bois consommée par le secteur du bâtiment en UE".²¹ En effet, construire en bois plutôt qu'en béton permet d'agir directement sur l'impact carbone de la construction.

Dans le PAD MédiaPark, imposer son utilisation permettrait de réduire jusqu'à 60% l'empreinte carbone de la construction des nouveaux bâtiments. L'efficacité de la mesure dépendra des assemblages choisis (ossature, plancher, isolation). Nous recommandons d'accompagner et de développer la filière de la construction en bois en Belgique²².

En utilisation, le bois offre un pouvoir d'isolation 13 fois supérieur au béton armé et 6 fois supérieur à la brique et contribue également partiellement à l'isolation des bâtiments.

7. Rendre obligatoire la pose de panneaux photovoltaïques sur l'ensemble de la surface construite (hors conflits d'usage)

La production d'électricité d'origine renouvelable à proximité des espaces de consommation permet de diminuer l'empreinte carbone du projet. Le surplus d'électricité vient en remplacement du mix électrique belge et accompagne l'augmentation des nouveaux usages en remplacement de l'utilisation d'énergies fossiles (pompes à chaleur, véhicule électrique).

Nous recommandons de rendre obligatoire la pose de panneaux photovoltaïques sur l'ensemble des surfaces qui le permettent tant qu'il n'y a pas de conflit d'usage (terrasses, toitures végétales).

8. Densifier en priorité les zones proches de transports en commun

La proximité aux transports en commun permet de réduire les temps de trajet en transport en commun. Ainsi, il devient possible de diminuer la surface de parking (ce qui baisse les émissions de CO₂ de la construction) et d'obtenir une circulation amoindrie de voitures individuelles. Cependant, l'impact de la mobilité n'a pas fait l'objet de chiffrage dans le cadre de cette étude.

Une stratégie de densification des zones en proximité des arrêts de bus et/ou du tram peut servir cet objectif. Cependant, l'impact du tracé du tram 25 n'a pas été pris en compte dans cette étude.

Conclusion

Pour réduire l'impact carbone des projets urbains, il convient de mettre en cohérence les projets de PAD avec les ambitions climatiques de la région. La première étape de cette mise en cohérence est de comptabiliser les émissions de GES induites par de tels projets.

Nous proposons donc de rendre obligatoire la réalisation d'un bilan carbone pour chaque projet urbain, et tout particulièrement pour les PAD de la RBC.

²⁰ Équivalents bois ronds.

²¹ <https://decarbonizeurope.org/wp-content/uploads/2016/11/8-Bois-version-longue.pdf>

²² https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/STUD_ConstructionBoisBxl_FR.pdf

7. Annexes

Annexe 1 : Hypothèses pour le scénario MédiaPark

Outre la démolition des bâtiments actuels de cette cité, il est prévu de convertir l'enclave de la cité audiovisuelle en un espace urbain mixte, avec 900 logements nouveaux, des commerces, des bureaux et une école. Le projet de PAD MédiaPark comprend 14 blocs séparés autour d'un parc urbain, qui remplacerait l'ancienne forêt qui se trouve actuellement dans la partie est de la cité audiovisuelle sur l'ancien terrain du Tir National.

Le tableau suivant donne un résumé des nouveaux blocs prévus dans le projet de PAD.

Tableau 4 - Description des bâtiments prévus pour le MédiaPark

Bâtiment	Superficie totale (m ²)	Usage	Commentaire ²³
Bloc A	37 000	Forte mixité	580 habitants
Bloc B	40 000	Forte mixité	700 habitants
Bloc C	40 000	Forte mixité/ parking souterrain	885 habitants
Bloc D	10 000	Média et intérêt public	
Bloc E	56 000	Média (VRT)	2400 emplois
Bloc F	21 000	Ecole fondamentale et crèche	1000 élèves Planifié dans la forêt actuelle
Bloc G	24 000	Forte mixité	400 habitants Planifié dans la forêt actuelle
Bloc H	5 000	Logement	290 habitants Planifié dans la forêt actuelle
Bloc IJK	33 000	Logement	800 habitants Planifié dans la forêt actuelle
Bloc L	18 000	Logement	
Bloc L'	8 000	Média et intérêt public	2400 emplois Planifié dans la forêt actuelle
Bloc M	27 000	Forte mixité	400 habitants
Bloc N	15 000	Forte mixité	280 habitants
Bloc O	39 000	Média (RTBF)	

²³ Les chiffres relatifs aux habitants et emplois prévus sont approximatives et viennent du document PAD, graphique en bas de la page 24. Les chiffres pour les blocs A, G et L' n'étaient que partiellement lisibles ; nous avons fait une estimation pour la partie illisible.

La Figure 5 donne une idée des hauteurs variables de chaque bloc du MédiaPark²⁴

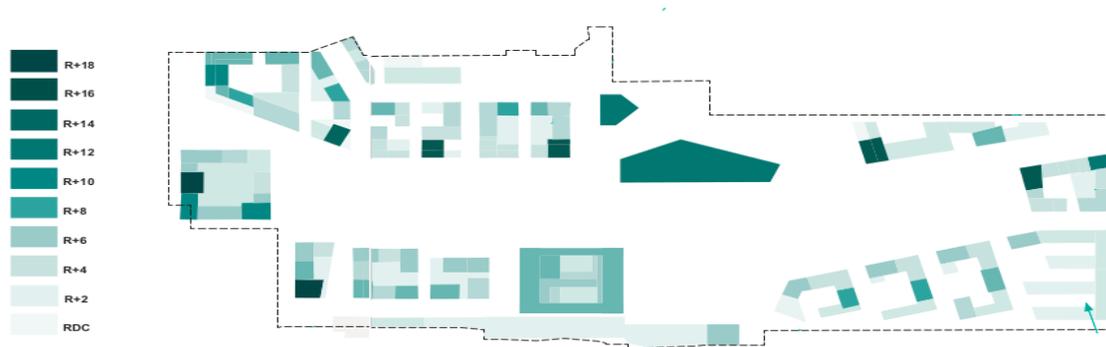


Figure 5 - Estimation des hauteurs de chaque bloc du PAD

²⁴ Image compilée des images dans le document “MédiaPark Brussels - Projet de Plan d’Aménagement Directeur”, janvier 2019.

Annexe 2 : détail de la réalisation du scénario alternatif bas carbone

Le scénario bas carbone proposé dans ce rapport se base sur la réhabilitation et la rénovation énergétique de bâtiments à détruire sur le site de MédiaPark (bâtiments P Q R S, actuels immeubles de bureaux et locaux de la RTBF/VRT) et de bâtiments vacants à proximité directe du site de MédiaPark pour créer de nouveaux logements, et ainsi conserver la forêt en épargnant la construction d'immeubles de logements tels que prévu dans le PAD (bâtiments G, H, I, J, K).

L'équipe de coordination du Comité MédiaPark a publié le 25 mai 2020 un inventaire de "3240 nouveaux logements disponibles à brève et moyenne échéance aux alentours de MédiaPark", nouvelles constructions et rénovations incluses. Le détail de cet inventaire permet d'obtenir un total de 1400 logements issus de la rénovation d'immeubles se situant rue Colonel Bourg, Boulevard Reyers, rue Evenepoel, avenue des Pléiades et rue Léon Grosjean. En considérant qu'un logement a une superficie moyenne de 97 m² (comme stipulé dans le rapport d'OVAM pour la rénovation de bâtiments), cela représente une superficie de 116 400 m² de surface de logements disponibles après rénovation. Cette surface permet largement d'absorber les logements à construire sur le site de la forêt comme prévu dans le PAD (bâtiments G, H, I, J, K et T), qui représentent au total 68 868 m².

Outre la réhabilitation énergétique aux alentours de MédiaPark, le scénario alternatif bas carbone propose également de conserver certains bâtiments existants (les bâtiments P, Q, R et S sur le schéma ci-dessous, qui sont actuellement des immeubles de bureaux et les locaux de la RTBF/VRT), et de les rénover énergétiquement pour les utiliser en tant que bureaux, école ou logements.

La non-construction des logements prévus dans les bâtiments G, H, I, J et K (62 000 m² au total) sur l'emplacement de la forêt est donc compensée en totalité par les surfaces rénovées énergétiquement des bâtiments actuels P, Q, R et S, et de bâtiments vacants aux alentours de MédiaPark (42 800 m², soit 441 appartements de taille moyenne, pour égaler la surface totale du projet PAD). Le scénario alternatif bas carbone a donc une superficie totale égale à celle du projet PAD actuel, c'est-à-dire 373 000 m².

Utilisé pour estimer l'impact carbone de la rénovation, le rapport de l'OVAM présente plusieurs scénarios de rénovation, allant d'une ambition minimale à maximale en termes d'efficacité énergétique. Nous avons choisi de retenir le scénario suivant pour le calcul de bilan carbone de ce rapport, car il donne la meilleure efficacité énergétique :

- Isolation du bâtiment selon les critères minimums légaux : coefficient de transmission thermique $U=0,24 \text{ W/m}^2.K$ pour les murs externes et le toit, et $1,4 \text{ W/m}^2.K$ pour les fenêtres. Cela correspond à une rénovation avec les matériaux suivants :
 - Toit : panneaux d'isolant PUR sous le toit existant, nouvelle toiture bitumineuse, nouveau ballast de gravier.
 - Murs extérieurs : isolation EPS et plâtre externe.
 - Sol au-dessus de la cave : panneaux d'isolant PUR collés sous le sol.
 - Fenêtres externes : remplacement des fenêtres par des fenêtres avec cadre aluminium et double vitrage.

- Chauffage : installation d'une pompe à chaleur air-eau (3,5 kW production, SPF 3,64), avec ballon d'eau chaude (nouvelle installation de chauffage et conservation des radiateurs existants).
- Installation de système de ventilation C3 avec régulation de la demande (grids, capteurs, conduits).

⇒ Ce scénario de rénovation permet d'obtenir une utilisation énergétique (électrique) pour le chauffage de 9,8 kWh/m².an, alors que le bâtiment non rénové a une utilisation énergétique pour le chauffage (fioul) de 280 kWh/m².an.

Il est cependant utile de préciser le point suivant : bien que les critères de rénovation énergétique choisis dans le rapport de l'OVAM sont très efficaces pour réduire considérablement la consommation énergétique du bâtiment, les matériaux choisis (PUR et aluminium notamment) ont une énergie grise (empreinte carbone pour leur fabrication) bien plus élevée que celle du bois. Nos recommandations pour ce rapport s'orientent donc vers une rénovation énergétique efficace et l'utilisation de matériaux à faible énergie grise comme le bois (voir le chapitre des recommandations). Une analyse de cycle complète sur l'impact des matériaux de construction pour la rénovation devrait être menée pour compléter cette étude.

Le scénario alternatif prévoit aussi de réduire le nombre d'emplacements de voitures de 5000 dans le projet de PAD actuel à 1500, misant sur un renforcement de la mobilité douce et multimodale.

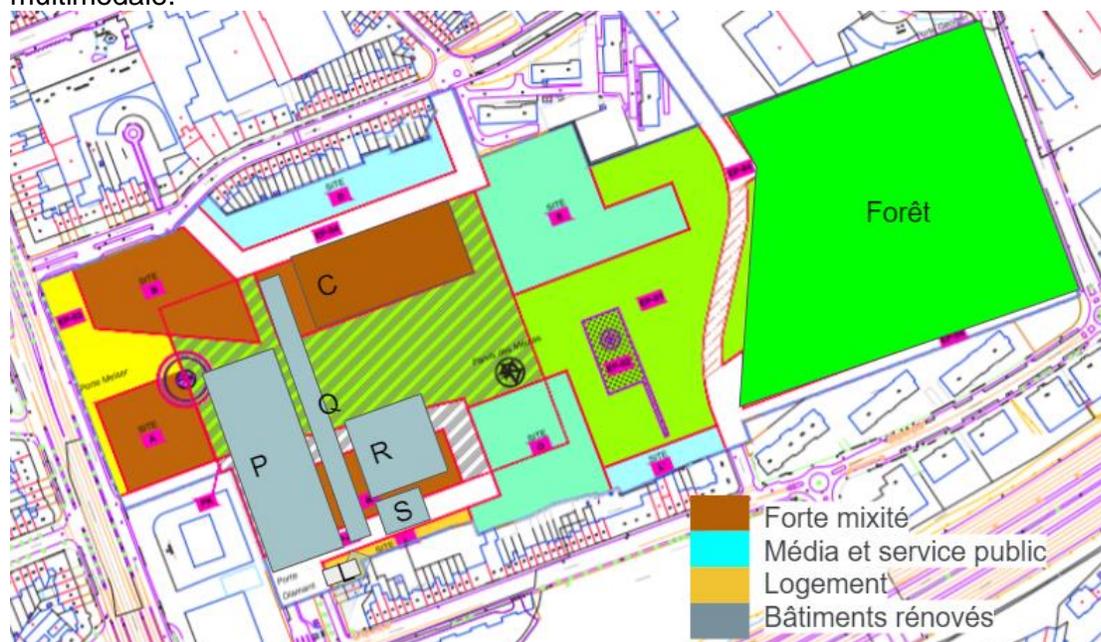


Figure 5 Mode d'occupation des sols - Scénario alternatif bas carbone

Annexe 3 : Outil utilisé pour le calcul du bilan carbone de la construction du MédiaPark

L'outil TOTEM (Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials)²⁵ mis à disposition au secteur de la construction par Bruxelles Environnement, l'OVAM et le Service Public de la Wallonie permet de calculer l'empreinte environnementale des bâtiments en fonction du matériau utilisé. Le site offre un choix d'éléments de construction et d'isolation pour chaque composante d'un bâtiment et calcule automatiquement l'empreinte environnementale ainsi que le coût environnemental du bâtiment entier.

Nous avons utilisé la méthode TOTEM pour chacun des nouveaux bâtiments proposés dans le PAD, utilisant les dimensions indiquées dans les cartes et le document stratégique du PAD. L'approche du projet MédiaPark est de diversifier le bâti et d'offrir un maximum de vues sur le parc urbain à l'intérieur du complexe, ce qui indique des hauteurs variées pour chaque bâtiment. Chaque bâtiment est conçu avec des éléments différents, comprenant aussi bien des tours de 10 à 19 étages que des blocs étendus de deux étages.

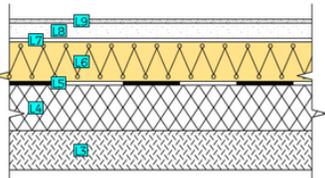
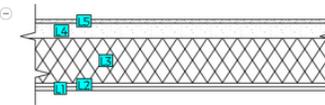
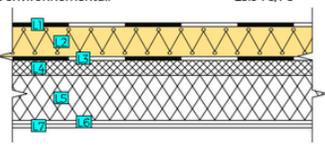
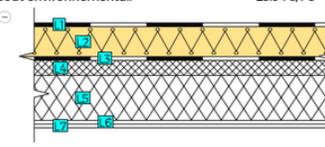
Dans le choix des éléments de construction pour le scénario de projet de PAD actuel, et en supposant que les bâtiments seraient effectivement construits, nous avons opté pour du matériel de qualité qui permet d'atteindre les niveaux de maison passive exigées par la législation en vigueur pour les constructions nouvelles.

L'outil TOTEM donne une vaste gamme d'éléments prédéfinis, mais permet aussi de configurer des éléments de construction novateurs. Nous avons profité de cette fonction pour recommander à travers le scénario alternatif bas carbone une conception améliorée des bâtiments (du point de vue environnement et énergie). Ces éléments contiennent un maximum de composantes en bois (poutres, cadres, parquet, panneaux OSB, colonnes en bois, isolant en fibre de bois...) et sont choisis selon la performance environnementale et énergétique.

Les tableaux suivants montrent les hypothèses que nous avons faites pour les matériaux de construction pour les scénarios 1 et 2 :

²⁵ www.totem-building.be

Tableau 5 - Eléments de constructions choisis pour le scénario projet PAD actuel

Dalle de sol		Plancher d'étage																																																																																																																																															
<p>Description: Sable compacté 13, béton coulé sur place 15, PUR 13, chape ciment armé 5, carreaux céramique</p> <p>Catégorie: Plancher-Plancher sur sol</p> <p>Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)</p> <p>Référence: (13)+</p> <p>Durée de vie élément: ≥ 60 ans</p> <p>Coût environnemental: 39.67€/FU Valeur U: 0.2W/m²K</p> 		<p>Description: Plâtre, béton armé coulé sur place 15, chape de ciment, carrelage céramique</p> <p>Catégorie: Plancher-Plancher d'étage</p> <p>Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)</p> <p>Référence: (23)+</p> <p>Durée de vie élément: ≥ 60 ans</p> <p>Coût environnemental: 28.33€/FU Valeur U: 1.97W/m²K</p> 																																																																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Matériaux</th> <th>Statut</th> <th>Paramètre de dimension</th> <th>Unité</th> <th>Lambda [W/mK]</th> <th>Durée de vie matériau [années]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>INT</td> <td>L9</td> <td>Revêtement de sol, dur - carreaux - céramique (grès pressé, émaille, 300x300) collés</td> <td>Nouveau</td> <td>0.01</td> <td>m</td> <td>0.81</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L8</td> <td>Plancher, sous-couche pour revêtement de sol - chape à base de ciment</td> <td>Nouveau</td> <td>0.05</td> <td>m</td> <td>0.85</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L7</td> <td>Plancher, renforcement de chape - treillis d'armature (diamètre 2 mm; largeur de maille 50 mm; 0.99 kg/m²)</td> <td>Nouveau</td> <td>0.002</td> <td>m</td> <td></td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L6</td> <td>Isolation thermique, plancher - au-dessus de la dalle de sol - PUR projeté (35 kg/m³)</td> <td>Nouveau</td> <td>0.13</td> <td>m</td> <td>0.028</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L5</td> <td>Dalle de sol - membrane d'étanchéité - polyéthylène 2/10</td> <td>Nouveau</td> <td>0.0002</td> <td>m</td> <td></td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L4</td> <td>Dalle de sol - béton armé coulé sur site (150 mm; 2 treillis d'armature, maille 150 x150 Ø 8 mm)</td> <td>Nouveau</td> <td>0.15</td> <td>m</td> <td>2.3</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L3</td> <td>Préparation du sol - remblai en sable (compacté; 1800 kg/m³) mécanique (par m³)</td> <td>Nouveau</td> <td>0.13</td> <td>m</td> <td></td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L2</td> <td>Préparation du sol - égalisation de la surface du sol</td> <td>Nouveau</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td>EXT</td> <td>L1</td> <td>Déblais pour dalle de sol - mécanique - sans transport (par m³)</td> <td>Nouveau</td> <td>0.3</td> <td>m</td> <td></td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Épaisseur totale</td> <td></td> <td>0.4722</td> <td>m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]	INT	L9	Revêtement de sol, dur - carreaux - céramique (grès pressé, émaille, 300x300) collés	Nouveau	0.01	m	0.81	≥ 60		L8	Plancher, sous-couche pour revêtement de sol - chape à base de ciment	Nouveau	0.05	m	0.85	≥ 60		L7	Plancher, renforcement de chape - treillis d'armature (diamètre 2 mm; largeur de maille 50 mm; 0.99 kg/m ²)	Nouveau	0.002	m		≥ 60		L6	Isolation thermique, plancher - au-dessus de la dalle de sol - PUR projeté (35 kg/m ³)	Nouveau	0.13	m	0.028	≥ 60		L5	Dalle de sol - membrane d'étanchéité - polyéthylène 2/10	Nouveau	0.0002	m		≥ 60		L4	Dalle de sol - béton armé coulé sur site (150 mm; 2 treillis d'armature, maille 150 x150 Ø 8 mm)	Nouveau	0.15	m	2.3	≥ 60		L3	Préparation du sol - remblai en sable (compacté; 1800 kg/m ³) mécanique (par m ³)	Nouveau	0.13	m		≥ 60		L2	Préparation du sol - égalisation de la surface du sol	Nouveau				≥ 60	EXT	L1	Déblais pour dalle de sol - mécanique - sans transport (par m ³)	Nouveau	0.3	m		≥ 60	Épaisseur totale			0.4722	m				<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Matériaux</th> <th>Statut</th> <th>Paramètre de dimension</th> <th>Unité</th> <th>Lambda [W/mK]</th> <th>Durée de vie matériau [années]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>INT</td> <td>L5</td> <td>Revêtement de sol, dur - carreaux - céramique (grès pressé, émaille, 300x300) collés</td> <td>Nouveau</td> <td>0.01</td> <td>m</td> <td>0.81</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L4</td> <td>Plancher, sous-couche pour revêtement de sol - chape à base de ciment</td> <td>Nouveau</td> <td>0.05</td> <td>m</td> <td>0.85</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L3</td> <td>Dalle de plancher - toiture plate - coulé sur place - béton armé</td> <td>Nouveau</td> <td>0.15</td> <td>m</td> <td>2.3</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L2</td> <td>Revêtement plafond - enduit - plâtre - application mécanique sur béton armé</td> <td>Nouveau</td> <td>0.012</td> <td>m</td> <td>0.4</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>EXT</td> <td>L1</td> <td>Revêtement plafond - peinture - acrylique sur enduit (3 couches, épaisseur de couche sèche 35 micromètres)</td> <td>Nouveau</td> <td>0.000105</td> <td>m</td> <td></td> <td>10</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Épaisseur totale</td> <td></td> <td>0.222105</td> <td>m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]	INT	L5	Revêtement de sol, dur - carreaux - céramique (grès pressé, émaille, 300x300) collés	Nouveau	0.01	m	0.81	≥ 60		L4	Plancher, sous-couche pour revêtement de sol - chape à base de ciment	Nouveau	0.05	m	0.85	≥ 60		L3	Dalle de plancher - toiture plate - coulé sur place - béton armé	Nouveau	0.15	m	2.3	≥ 60		L2	Revêtement plafond - enduit - plâtre - application mécanique sur béton armé	Nouveau	0.012	m	0.4	40	EXT	L1	Revêtement plafond - peinture - acrylique sur enduit (3 couches, épaisseur de couche sèche 35 micromètres)	Nouveau	0.000105	m		10	Épaisseur totale			0.222105	m			
	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]																																																																																																																																											
INT	L9	Revêtement de sol, dur - carreaux - céramique (grès pressé, émaille, 300x300) collés	Nouveau	0.01	m	0.81	≥ 60																																																																																																																																										
	L8	Plancher, sous-couche pour revêtement de sol - chape à base de ciment	Nouveau	0.05	m	0.85	≥ 60																																																																																																																																										
	L7	Plancher, renforcement de chape - treillis d'armature (diamètre 2 mm; largeur de maille 50 mm; 0.99 kg/m ²)	Nouveau	0.002	m		≥ 60																																																																																																																																										
	L6	Isolation thermique, plancher - au-dessus de la dalle de sol - PUR projeté (35 kg/m ³)	Nouveau	0.13	m	0.028	≥ 60																																																																																																																																										
	L5	Dalle de sol - membrane d'étanchéité - polyéthylène 2/10	Nouveau	0.0002	m		≥ 60																																																																																																																																										
	L4	Dalle de sol - béton armé coulé sur site (150 mm; 2 treillis d'armature, maille 150 x150 Ø 8 mm)	Nouveau	0.15	m	2.3	≥ 60																																																																																																																																										
	L3	Préparation du sol - remblai en sable (compacté; 1800 kg/m ³) mécanique (par m ³)	Nouveau	0.13	m		≥ 60																																																																																																																																										
	L2	Préparation du sol - égalisation de la surface du sol	Nouveau				≥ 60																																																																																																																																										
EXT	L1	Déblais pour dalle de sol - mécanique - sans transport (par m ³)	Nouveau	0.3	m		≥ 60																																																																																																																																										
Épaisseur totale			0.4722	m																																																																																																																																													
	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]																																																																																																																																											
INT	L5	Revêtement de sol, dur - carreaux - céramique (grès pressé, émaille, 300x300) collés	Nouveau	0.01	m	0.81	≥ 60																																																																																																																																										
	L4	Plancher, sous-couche pour revêtement de sol - chape à base de ciment	Nouveau	0.05	m	0.85	≥ 60																																																																																																																																										
	L3	Dalle de plancher - toiture plate - coulé sur place - béton armé	Nouveau	0.15	m	2.3	≥ 60																																																																																																																																										
	L2	Revêtement plafond - enduit - plâtre - application mécanique sur béton armé	Nouveau	0.012	m	0.4	40																																																																																																																																										
EXT	L1	Revêtement plafond - peinture - acrylique sur enduit (3 couches, épaisseur de couche sèche 35 micromètres)	Nouveau	0.000105	m		10																																																																																																																																										
Épaisseur totale			0.222105	m																																																																																																																																													
<p>Description: Plâtre, béton armé coulé sur place 15, forme de pente en béton, PUR 10, EPDM</p> <p>Catégorie: Toiture-Toiture plate</p> <p>Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)</p> <p>Référence: (271)+</p> <p>Durée de vie élément: ≥ 60 ans</p> <p>Coût environnemental: 23.94€/FU Valeur U: 0.22W/m²K</p> 		<p>Description: Plâtre, béton armé coulé sur place 15, forme de pente en béton, PUR 10, EPDM</p> <p>Catégorie: Toiture-Toiture plate</p> <p>Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)</p> <p>Référence: (271)+</p> <p>Durée de vie élément: ≥ 60 ans</p> <p>Coût environnemental: 23.94€/FU Valeur U: 0.22W/m²K</p> 																																																																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Matériaux</th> <th>Statut</th> <th>Paramètre de dimension</th> <th>Unité</th> <th>Lambda [W/mK]</th> <th>Durée de vie matériau [années]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EXT</td> <td>L1</td> <td>Revêtement toiture - surfaces horizontales - en les - EPDM - partiellement collé</td> <td>Nouveau</td> <td>0.0012</td> <td>m</td> <td>0.25</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L2</td> <td>Isolation thermique, toiture plate - panneau, partiellement collé sur dalle ou panneau de toiture en béton ou membrane bitumineuse - polyuréthane (PUR; 30 kg/m³; 10 cm)</td> <td>Nouveau</td> <td>0.1</td> <td>m</td> <td>0.024</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L3</td> <td>Revêtement toiture - pare-vapeur - membrane bitumineuse oxydée renforcée par fibre de verre - pose libre sur plancher de toiture en béton, non lesté</td> <td>Nouveau</td> <td>0.003</td> <td>m</td> <td>0.23</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L4</td> <td>Toiture plate - forme de pente - béton maigre ou léger coulé surplace</td> <td>Nouveau</td> <td>0.05</td> <td>m</td> <td>1.65</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L5</td> <td>Dalle de plancher - toiture plate - coulé sur place - béton armé</td> <td>Nouveau</td> <td>0.15</td> <td>m</td> <td>2.3</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L6</td> <td>Revêtement plafond - enduit - plâtre - application mécanique sur béton armé</td> <td>Nouveau</td> <td>0.012</td> <td>m</td> <td>0.4</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>INT</td> <td>L7</td> <td>Revêtement plafond - peinture - acrylique sur enduit (3 couches, épaisseur de couche sèche 35 micromètres)</td> <td>Nouveau</td> <td>0.000105</td> <td>m</td> <td></td> <td>10</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Épaisseur totale</td> <td></td> <td>0.316305</td> <td>m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]	EXT	L1	Revêtement toiture - surfaces horizontales - en les - EPDM - partiellement collé	Nouveau	0.0012	m	0.25	30		L2	Isolation thermique, toiture plate - panneau, partiellement collé sur dalle ou panneau de toiture en béton ou membrane bitumineuse - polyuréthane (PUR; 30 kg/m ³ ; 10 cm)	Nouveau	0.1	m	0.024	≥ 60		L3	Revêtement toiture - pare-vapeur - membrane bitumineuse oxydée renforcée par fibre de verre - pose libre sur plancher de toiture en béton, non lesté	Nouveau	0.003	m	0.23	≥ 60		L4	Toiture plate - forme de pente - béton maigre ou léger coulé surplace	Nouveau	0.05	m	1.65	≥ 60		L5	Dalle de plancher - toiture plate - coulé sur place - béton armé	Nouveau	0.15	m	2.3	≥ 60		L6	Revêtement plafond - enduit - plâtre - application mécanique sur béton armé	Nouveau	0.012	m	0.4	40	INT	L7	Revêtement plafond - peinture - acrylique sur enduit (3 couches, épaisseur de couche sèche 35 micromètres)	Nouveau	0.000105	m		10	Épaisseur totale			0.316305	m				<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Matériaux</th> <th>Statut</th> <th>Paramètre de dimension</th> <th>Unité</th> <th>Lambda [W/mK]</th> <th>Durée de vie matériau [années]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EXT</td> <td>L1</td> <td>Revêtement toiture - surfaces horizontales - en les - EPDM - partiellement collé</td> <td>Nouveau</td> <td>0.0012</td> <td>m</td> <td>0.25</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L2</td> <td>Isolation thermique, toiture plate - panneau, partiellement collé sur dalle ou panneau de toiture en béton ou membrane bitumineuse - polyuréthane (PUR; 30 kg/m³; 10 cm)</td> <td>Nouveau</td> <td>0.1</td> <td>m</td> <td>0.024</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L3</td> <td>Revêtement toiture - pare-vapeur - membrane bitumineuse oxydée renforcée par fibre de verre - pose libre sur plancher de toiture en béton, non lesté</td> <td>Nouveau</td> <td>0.003</td> <td>m</td> <td>0.23</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L4</td> <td>Toiture plate - forme de pente - béton maigre ou léger coulé surplace</td> <td>Nouveau</td> <td>0.05</td> <td>m</td> <td>1.65</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L5</td> <td>Dalle de plancher - toiture plate - coulé sur place - béton armé</td> <td>Nouveau</td> <td>0.15</td> <td>m</td> <td>2.3</td> <td>≥ 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L6</td> <td>Revêtement plafond - enduit - plâtre - application mécanique sur béton armé</td> <td>Nouveau</td> <td>0.012</td> <td>m</td> <td>0.4</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>INT</td> <td>L7</td> <td>Revêtement plafond - peinture - acrylique sur enduit (3 couches, épaisseur de couche sèche 35 micromètres)</td> <td>Nouveau</td> <td>0.000105</td> <td>m</td> <td></td> <td>10</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Épaisseur totale</td> <td></td> <td>0.316305</td> <td>m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]	EXT	L1	Revêtement toiture - surfaces horizontales - en les - EPDM - partiellement collé	Nouveau	0.0012	m	0.25	30		L2	Isolation thermique, toiture plate - panneau, partiellement collé sur dalle ou panneau de toiture en béton ou membrane bitumineuse - polyuréthane (PUR; 30 kg/m ³ ; 10 cm)	Nouveau	0.1	m	0.024	≥ 60		L3	Revêtement toiture - pare-vapeur - membrane bitumineuse oxydée renforcée par fibre de verre - pose libre sur plancher de toiture en béton, non lesté	Nouveau	0.003	m	0.23	≥ 60		L4	Toiture plate - forme de pente - béton maigre ou léger coulé surplace	Nouveau	0.05	m	1.65	≥ 60		L5	Dalle de plancher - toiture plate - coulé sur place - béton armé	Nouveau	0.15	m	2.3	≥ 60		L6	Revêtement plafond - enduit - plâtre - application mécanique sur béton armé	Nouveau	0.012	m	0.4	40	INT	L7	Revêtement plafond - peinture - acrylique sur enduit (3 couches, épaisseur de couche sèche 35 micromètres)	Nouveau	0.000105	m		10	Épaisseur totale			0.316305	m			
	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]																																																																																																																																											
EXT	L1	Revêtement toiture - surfaces horizontales - en les - EPDM - partiellement collé	Nouveau	0.0012	m	0.25	30																																																																																																																																										
	L2	Isolation thermique, toiture plate - panneau, partiellement collé sur dalle ou panneau de toiture en béton ou membrane bitumineuse - polyuréthane (PUR; 30 kg/m ³ ; 10 cm)	Nouveau	0.1	m	0.024	≥ 60																																																																																																																																										
	L3	Revêtement toiture - pare-vapeur - membrane bitumineuse oxydée renforcée par fibre de verre - pose libre sur plancher de toiture en béton, non lesté	Nouveau	0.003	m	0.23	≥ 60																																																																																																																																										
	L4	Toiture plate - forme de pente - béton maigre ou léger coulé surplace	Nouveau	0.05	m	1.65	≥ 60																																																																																																																																										
	L5	Dalle de plancher - toiture plate - coulé sur place - béton armé	Nouveau	0.15	m	2.3	≥ 60																																																																																																																																										
	L6	Revêtement plafond - enduit - plâtre - application mécanique sur béton armé	Nouveau	0.012	m	0.4	40																																																																																																																																										
INT	L7	Revêtement plafond - peinture - acrylique sur enduit (3 couches, épaisseur de couche sèche 35 micromètres)	Nouveau	0.000105	m		10																																																																																																																																										
Épaisseur totale			0.316305	m																																																																																																																																													
	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]																																																																																																																																											
EXT	L1	Revêtement toiture - surfaces horizontales - en les - EPDM - partiellement collé	Nouveau	0.0012	m	0.25	30																																																																																																																																										
	L2	Isolation thermique, toiture plate - panneau, partiellement collé sur dalle ou panneau de toiture en béton ou membrane bitumineuse - polyuréthane (PUR; 30 kg/m ³ ; 10 cm)	Nouveau	0.1	m	0.024	≥ 60																																																																																																																																										
	L3	Revêtement toiture - pare-vapeur - membrane bitumineuse oxydée renforcée par fibre de verre - pose libre sur plancher de toiture en béton, non lesté	Nouveau	0.003	m	0.23	≥ 60																																																																																																																																										
	L4	Toiture plate - forme de pente - béton maigre ou léger coulé surplace	Nouveau	0.05	m	1.65	≥ 60																																																																																																																																										
	L5	Dalle de plancher - toiture plate - coulé sur place - béton armé	Nouveau	0.15	m	2.3	≥ 60																																																																																																																																										
	L6	Revêtement plafond - enduit - plâtre - application mécanique sur béton armé	Nouveau	0.012	m	0.4	40																																																																																																																																										
INT	L7	Revêtement plafond - peinture - acrylique sur enduit (3 couches, épaisseur de couche sèche 35 micromètres)	Nouveau	0.000105	m		10																																																																																																																																										
Épaisseur totale			0.316305	m																																																																																																																																													

Fenêtre extérieure

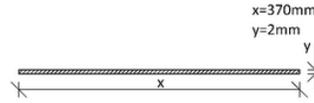
Description: Fenêtre > 3.2m2, châssis en aluminium, double vitrage, simple battant
 Catégorie: Ouverture-Fenêtre extérieure
 Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)
 Référence: (31)+
 Durée de vie élément: 30 ans
 Coût environnemental: 120.1€/FU Valeur U: 1.58W/m²K



	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]
L1						
	27.01% Fenêtre extérieure - châssis - aluminium, revêtu de poudre (U 1.6 W/m2K)	Nouveau				≥ 60
	72.99% Fenêtre extérieure - fenêtre - double vitrage (U 1.1 W/m2K)	Nouveau				30

Seuil extérieur

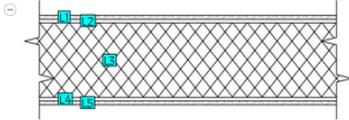
Description: Seuil extérieur, aluminium, 2x370 mm
 Catégorie: Ouverture-Seuil / appui de fenêtre
 Unité fonctionnelle (FU): Longueur (m)
 Référence: (31/44)+
 Durée de vie élément: ≥ 60 ans
 Coût environnemental: 7.57€/FU



	Matériaux	Statut	Durée de vie maté [ann]
L1	Appui de fenêtre - extérieur - aluminium - 2x370 mm	Nouveau	30

Mur intérieur porteur

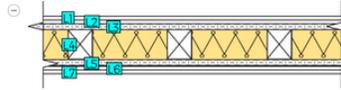
Description: Carreaux céramiques, mur en béton préfabriqué 25, carreaux céramiques
 Catégorie: Mur-Mur intérieur porteur
 Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)
 Référence: (22.1)+
 Durée de vie élément: ≥ 60 ans
 Coût environnemental: 26.25€/FU Valeur U: 2.71W/m²K



	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]
L1	Finition de mur, intérieur - carreaux céramiques (200x200x9) - collés	Nouveau	0.009	m		40
L2	Finition de mur, intérieur - enduit à injecter	Nouveau	0.003	m		40
L3	Mur extérieur - porteur - partie primaire - double mur en béton préfabriqué rempli de béton coulé sur site (25 cm)	Nouveau	0.25	m	2.3	≥ 60
L4	Finition de mur, intérieur - enduit à injecter	Nouveau	0.003	m		40
L5	Finition de mur, intérieur - carreaux céramiques (200x200x9) - collés	Nouveau	0.009	m		40
Épaisseur totale			0.274	m		

Mur intérieur non porteur

Description: Plaque de carton-plâtre, ossature bois (20%) remplie de laine de verre (80%) 10, plaque de carton-plâtre
 Catégorie: Mur-Mur intérieur non porteur/structure légère
 Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)
 Référence: (22.3)+
 Durée de vie élément: ≥ 30 ans
 Coût environnemental: 11.41€/FU Valeur U: 0.4W/m²K



	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie maté [ann]
L1	Finition de mur, intérieur - traitement de l'élément de fermeture - peinture sur plaque en plâtre - peinture acrylique (3 couches, épaisseur de couche sèche 35 micromètres)	Nouveau	0.000105	m		10
L2	Finition de mur, intérieur - panneaux - plaque de plâtre, 1 couche (épaisseur 12.5 mm) vissé (sous-structure non comprise) y compris remplissage des joints	Nouveau	0.0125	m	0.25	30
L3	Finition de mur, intérieur - sous-structure pour plaques - structure en bois (22x47mm)	Nouveau	0.022	m		30
L4	Mur intérieur - non porteur - partie primaire - ossature en bois (sur site) remplie de laine de verre - 10 cm	Nouveau	0.1	m	0.0548	≥ 60
L5	Finition de mur, intérieur - sous-structure pour plaques - structure en bois (22x47mm)	Nouveau	0.022	m		30
L6	Finition de mur, intérieur - panneaux - plaque de plâtre, 1 couche (épaisseur 12.5 mm) vissé (sous-structure non comprise) y compris remplissage des joints	Nouveau	0.0125	m	0.25	30
L7	Finition de mur, intérieur - traitement de l'élément de fermeture - peinture sur plaque en plâtre - peinture acrylique (3 couches, épaisseur de couche sèche 35 micromètres)	Nouveau	0.000105	m		10
Épaisseur totale			0.16921	m		

Colonne en béton

Aménagement extérieur

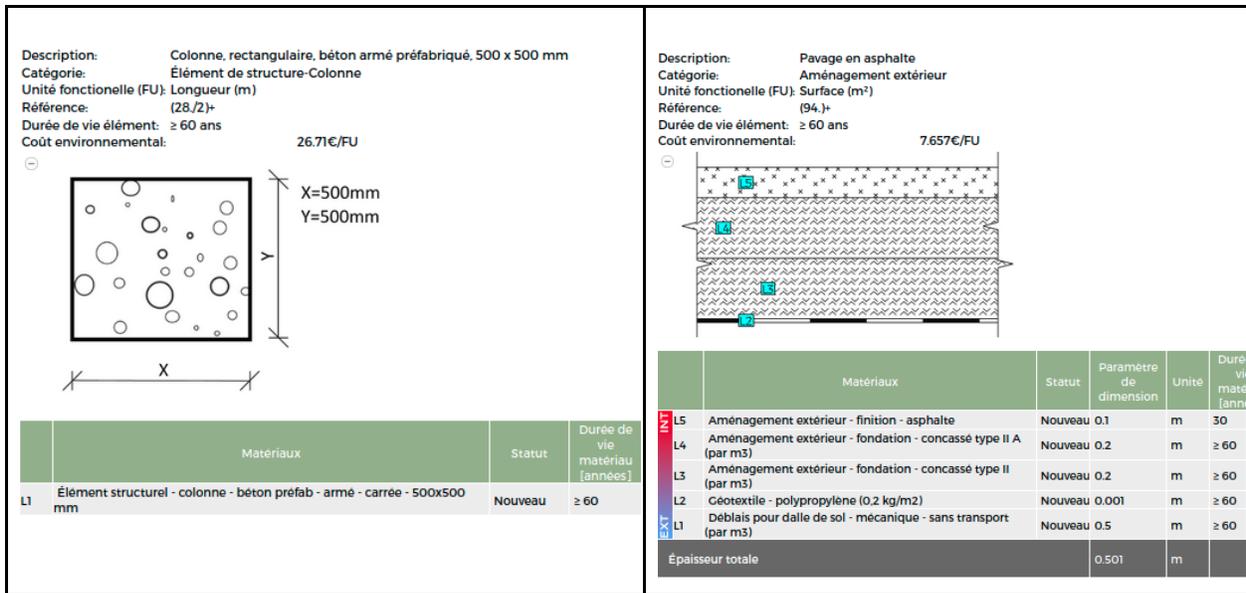
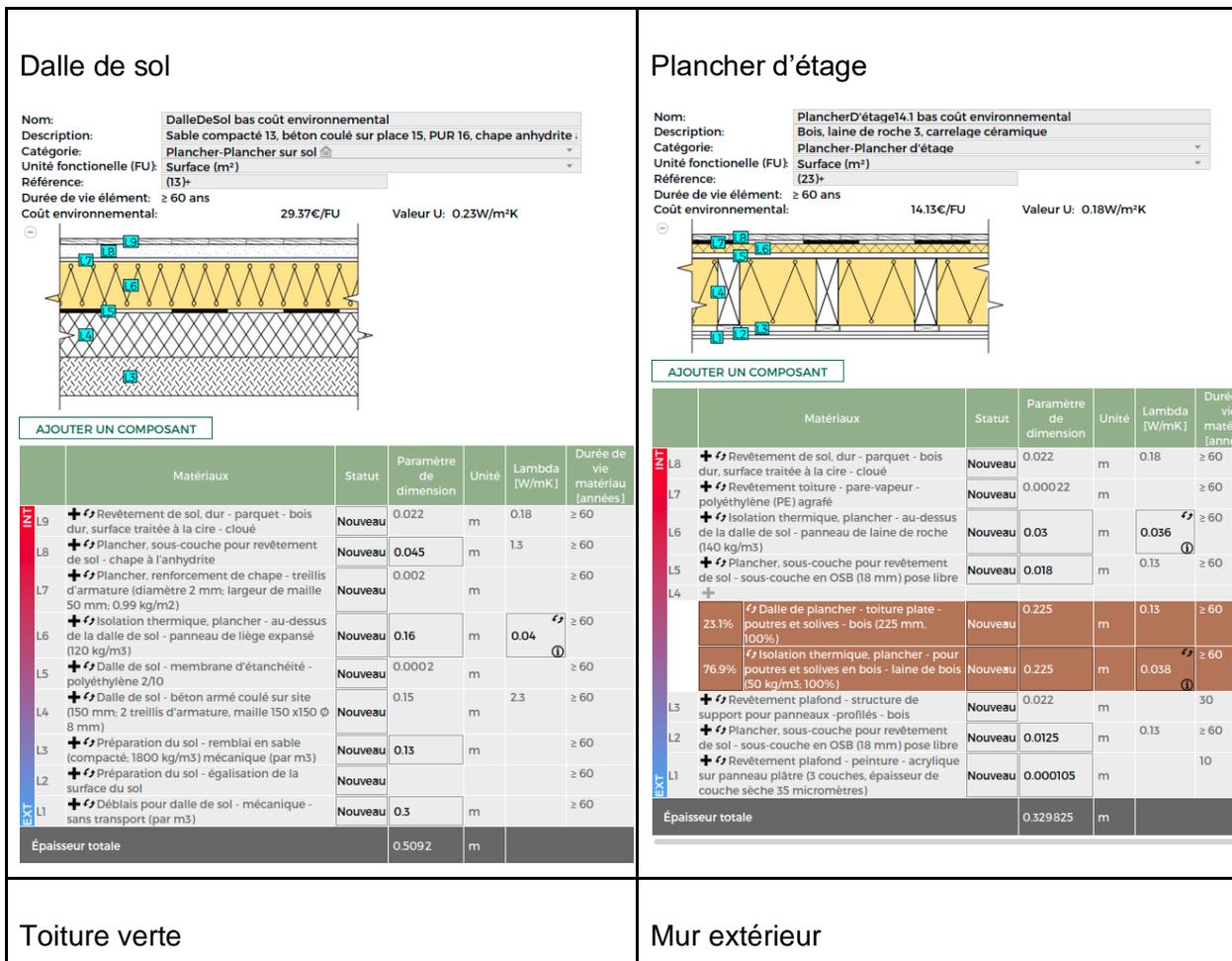
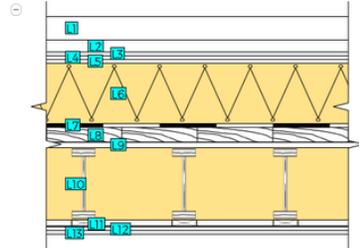


Figure 5 Eléments de construction choisis pour le scénario alternatif bas carbone



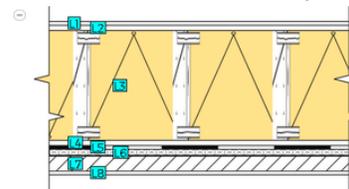
Nom: Toiture plate, verte et de bas coût environnemental
 Description: Plaque de plâtre, F31 remplie de cellulose 24, forme de pente préfabric
 Catégorie: Toiture-Toiture plate
 Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)
 Référence: (271)+
 Durée de vie élément: ≥ 60 ans
 Coût environnemental: 16.85€/FU Valeur U: 0.089W/m²K



AJOUTER UN COMPOSANT

	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]
L1	Couverture de toiture - toiture verte extensive	Nouveau	0.078	m		30
L2	Couverture de toiture - substrat (pour toiture verte extensive)	Nouveau	0.04	m		30
L3	Couverture de toiture - papier filtrant non-tissé en polypropylène (pour toiture verte extensive)	Nouveau	0.001	m		30
L4	Couverture de toiture - panneau de drainage en polystyrene (pour toiture verte extensive)	Nouveau	0.007	m		30
L5	Couverture de toiture - panneaux de rétention d'eau minérale (pour toiture verte extensive)	Nouveau	0.0012	m		30
L6	Isolation thermique, toiture plate - panneau, fixation mécanique - panneau en liège (120 kg/m3; 20 cm)	Nouveau	0.2	m	0.04	≥ 60
L7	Revêtement toiture - pare-vapeur - polyéthylène (PE) agrafé	Nouveau	0.00022	m		≥ 60
L8	Toiture plate - forme de pente - éléments préfabriqués en bois avec pente	Nouveau	0.05	m		≥ 60
L9	Dalle de plancher - toiture plate - panneaux - panneau OSB (18 mm) cloué	Nouveau	0.018	m	0.13	≥ 60
L10	Dalle de toiture - toiture plate - poutre en F31 (lamibois-OSB, hauteur 240 mm, entraxe 400 mm) remplie de cellulose (insufflés sur site)	Nouveau	0.241	m		≥ 60
L11	Revêtement plafond - structure de support pour panneaux - profilés - bois	Nouveau	0.022	m		30
L12	Revêtement plafond - panneaux - panneau OSB (12 mm) vissé, y compris remplissage des joints	Nouveau	0.012	m	0.25	30
L13	Revêtement plafond - peinture - peinture à la chaux sur enduit (2 couches, épaisseur de couche sèche 1 mm)	Nouveau	0.000105	m		10
Épaisseur totale			0.670525	m		

Nom: Mur extérieur- bas coût environnemental
 Description: Crépi, panneau de fibres de bois, F31 36 remplie de cellulose 36 sur blo
 Catégorie: Mur-Mur extérieur
 Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)
 Référence: (21)-
 Durée de vie élément: ≥ 60 ans
 Coût environnemental: 13.19€/FU Valeur U: 0.12W/m²K



AJOUTER UN COMPOSANT

	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie maté [ann]
L1	Finition de mur, extérieur - élément de fermeture - enduit sur isolant (enduit de base, treillis d'armature, enduit de finition)	Nouveau	0.007	m		40
L2	Finition de mur, extérieur - panneaux - panneau isolant composé de fibres de bois - 18 mm	Nouveau	0.018	m	0.047	≥ 60
L3	Mur extérieur - porteur - partie primaire - blocs/briques - béton cellulaire (600x365x250) colle	Nouveau	0.365	m	0.16	≥ 60
L4	Mur extérieur - porteur - partie primaire - poutre en F31 (lamibois-OSB, hauteur 360 mm, entraxe 500 mm) remplie de cellulose (insufflés sur le site: 45 kg/m3; 360 mm)	Nouveau	0.36	m		≥ 60
L5	Finition de mur, intérieur - panneaux - panneau OSB (18 mm) vissé	Nouveau	0.018	m	0.13	≥ 60
L6	Finition de mur, intérieur - pare-vapeur - 50% polypropylène (PP)/50% polyéthylène (LDPE) - fixé avec du ruban adhésif	Nouveau	0.00022	m		≥ 60
L7	Finition de mur, intérieur - sous-structure pour plaques - structure en bois (22x47mm)	Nouveau	0.022	m		30
L8	Finition de mur, intérieur - blocs de plâtre (50x50x666 mm) collé et avec mastic de finition	Nouveau	0.05	m	0.43	≥ 60
L8	Finition de mur, intérieur - traitement de l'élément de fermeture - peinture sur enduit de plâtre - peinture acrylique (3 couches, épaisseur de couche sèche 35 micromètres)	Nouveau	0.000105	m		10
Épaisseur totale			0.480325	m		

Fenêtre extérieure

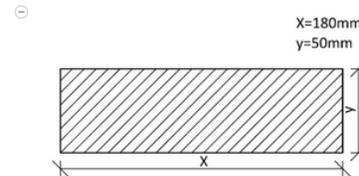
Nom: FenêtreExtérieureà bas coût environnemental
 Description: Fenêtre > 3.2m2, châssis en bois-liège, triple vitrage, simple battant
 Catégorie: Ouverture-Fenêtre extérieure
 Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)
 Référence: (31)-
 Durée de vie élément: 30 ans
 Coût environnemental: 54.27€/FU Valeur U: 0.9W/m²K



	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]
L1	Fenêtre extérieure - châssis - bois-liège (U 0.74 W/m²K)	Nouveau				40
	Fenêtre extérieure - fenêtre - triple vitrage (U 0.5 W/m²K)	Nouveau				30

Seuil extérieur de fenêtre

Description: Seuil extérieur, pierre naturelle, 50x180 mm
 Catégorie: Ouverture-Seuil / appui de fenêtre
 Unité fonctionnelle (FU): Longueur (m)
 Référence: (31/44)+
 Durée de vie élément: ≥ 60 ans
 Coût environnemental: 0.1337€/FU

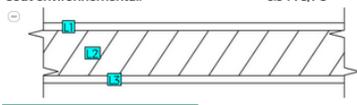


	Matériaux	Statut	Durée de vie maté [ann]
L1	Appui de fenêtre - extérieur - pierre naturelle - 50x180 mm	Nouveau	≥ 60

Mur porteur intérieur

Mur intérieur non porteur

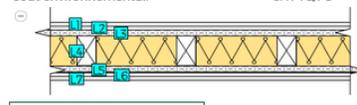
Nom: MurIntérieurPorteur à moyen coût environnemental
 Description: Carreaux en pierre naturelle, béton cellulaire 15, carreaux en pierre na
 Catégorie: Mur-Mur intérieur porteur
 Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)
 Référence: (22.1)+
 Durée de vie élément: ≥ 60 ans
 Coût environnemental: 6.944€/FU Valeur U: 2.85W/m²K



AJOUTER UN COMPOSANT

	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]	
EXT	L1	+	Finition de mur, intérieur - badigeon à la chaux sur maçonnerie	Nouveau	0.025	m	40
	L2	+	Mur intérieur - porteur - partie primaire - moellons de pierre calcaire maçonnés au mortier de ciment	Nouveau	0.15	m	1.641 ≥ 60
INT	L3	+	Finition de mur, intérieur - badigeon à la chaux sur maçonnerie	Nouveau	0.025	m	40
Épaisseur totale			0.2	m			

Nom: MurIntérieurNonPorteur à bas coût environnemental
 Description: Ossature en bois 10, laine de verre, plaque de plâtre
 Catégorie: Mur-Mur intérieur non porteur/structure légère
 Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)
 Référence: (22.3)+
 Durée de vie élément: ≥ 30 ans
 Coût environnemental: 6.474€/FU Valeur U: 0.4W/m²K

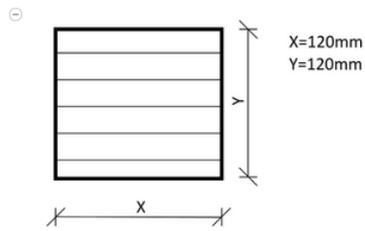


AJOUTER UN COMPOSANT

	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Lambda [W/mK]	Durée de vie matériau [années]	
EXT	L1	+	Finition de mur, intérieur - badigeon à la chaux sur bois	Nouveau	0.000105	m	40
	L2	+	Finition de mur, intérieur - panneaux - panneau OSB (12 mm) vissé	Nouveau	0.012	m	0.25 ≥ 60
	L3	+	Finition de mur, intérieur - sous-structure pour plaques - structure en bois (22x47mm)	Nouveau	0.022	m	30
	L4	+					
	L5	+	Mur intérieur - non porteur - partie primaire - ossature en bois (non traité, cloué sur site-100%) 100 mm	Nouveau	0.1	m	0.13 ≥ 60
	L6	+	Isolation thermique, mur - matelas à languettes, pour ossature en bois - laine de verre (30 kg/m3; 100%)	Nouveau	0.1	m	0.036 ≥ 60
	L7	+	Finition de mur, intérieur - sous-structure pour plaques - structure en bois (22x47mm)	Nouveau	0.022	m	30
	L8	+	Finition de mur, intérieur - panneaux - panneau OSB (12 mm) vissé	Nouveau	0.012	m	0.25 ≥ 60
INT	L9	+	Finition de mur, intérieur - badigeon à la chaux sur bois	Nouveau	0.000105	m	40
Épaisseur totale			0.16821	m			

Colonne en bois (seulement pour les bâtiments de basse hauteur)

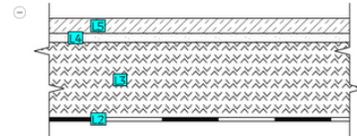
Description: Colonne, carrée, bois lamellé collé (traité) 120x120 mm
 Catégorie: Élément de structure-Colonne
 Unité fonctionnelle (FU): Longueur (m)
 Référence: (28.2)+
 Durée de vie élément: ≥ 60 ans
 Coût environnemental: 1.549€/FU



	Matériaux	Statut	Durée de vie matériau [années]
L1	Élément structurel - colonne - bois lamellé collé - traité - carrée - 120x120 mm	Nouveau	≥ 60

Aménagement extérieur (autour des bâtiments)

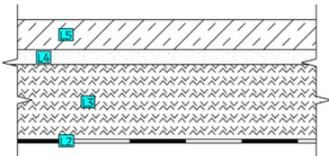
Description: Pavage en pierre naturelle
 Catégorie: Aménagement extérieur
 Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)
 Référence: (94.)+
 Durée de vie élément: ≥ 60 ans
 Coût environnemental: 5.522€/FU



	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Durée de vie matériau [années]		
INT	L5	+	Installation au sol - finition - clinker en pierre naturelle avec joints en mortier de ciment (20x10x5 cm)	Nouveau	0.05	m	30
	L4	+	Aménagement extérieur - lit de pose - lit de mortier de ciment (300 kg/m3; par m3)	Nouveau	0.03	m	≥ 60
	L3	+	Aménagement extérieur - fondation - concassé type I A - débris de béton (par m3)	Nouveau	0.25	m	≥ 60
	L2	+	Geotextile - polypropylène (0.2 kg/m2)	Nouveau	0.001	m	≥ 60
EXT	L1	+	Déblais pour dalle de sol - mécanique - sans transport (par m3)	Nouveau	0.33	m	≥ 60
Épaisseur totale			0.331	m			

Aménagement extérieur pour voirie active

Nom: AménagementExtérieur perméable
 Description: Pavage en pierre naturelle
 Catégorie: Aménagement extérieur
 Unité fonctionnelle (FU): Surface (m²)
 Référence: (94,)+
 Durée de vie élément: ≥ 60 ans
 Coût environnemental: ?



AJOUTER UN COMPOSANT

	Matériaux	Statut	Paramètre de dimension	Unité	Durée de vie matériau [années]
INT	L5 + Installation au sol - finition - dalles-gazon en béton (60x40x10 cm)	Nouveau	0.1	m	30
	L4 + Aménagement extérieur - lit de pose - pour dalles-gazon en béton (par cm)	Nouveau	0.05	m	≥ 60
	L3 + Aménagement extérieur - fondation - concassé type 1 A - débris de béton (par m ³)	Nouveau	0.25	m	≥ 60
	L2 + Géotextile - polypropylène (0.2 kg/m ²)	Nouveau	0.001	m	≥ 60
EXT	L1 + Déblais pour dalle de sol - mécanique - sans transport (par m ³)	Nouveau	0.33	m	≥ 60
	Epaisseur totale		0.401	m	

Annexe 4 : Outils utilisés pour le calcul du bilan carbone de la rénovation des bâtiments existants

L'outil TOTEM ne permet pas de calculer le bilan environnemental de la rénovation énergétique des édifices existants de la même manière. Pour cette raison, nous avons utilisé les données d'une étude menée par l'OVAM concernant la rénovation de bâtiments²⁶. Cette étude détaille les impacts environnementaux de différents scénarios de rénovation d'un immeuble d'appartements de 3 étages construit en 1970, et rénové en 2020. Ces résultats des impacts environnementaux sont donc utilisés dans ce rapport pour la rénovation de certains bâtiments existants sur le site de MédiaPark, ainsi que certains immeubles de bureaux vacants situés aux alentours du PAD.

²⁶ THE IMPACT OF MATERIALS NEEDED FOR RENOVATION AND NEW HOUSING, A GLOBAL ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF THE POLICY ACTIONS IN THE FLEMISH CLIMATE POLICY PLAN, 2020, www.ovam.be

Annexe 5 : Méthodologie et périmètre de l'étude

L'outil TOTEM pour la construction et le rapport d'OVAM pour la rénovation suivent les règles d'analyse de cycle de vie (ACV) standardisées dans les normes ISO 14040. Les 2 approches répondent également aux normes européennes EN15804²⁷ et EN15978²⁸ qui décrivent les règles de calcul d'ACV relatifs aux produits de la construction et du bâtiment.

Le périmètre d'étude de ces ACV a été relié aux scopes 1, 2 et 3 des catégories d'émission du bilan carbone selon la norme ISO 14064-1 tel que décrit dans le tableau suivant :

Figure 6 Catégories d'émission du bilan carbone

Catégories d'émissions	n°	Postes	Description dans le cas du présent rapport
SCOPE 1 Emissions directes de GES	1	Emissions directes des sources fixes de combustion	Consommation énergétique sur 30 ans de l'utilisation des bâtiments (chauffage, Eau Chaude Sanitaire (ECS), etc.)
	5	Emissions issues de la biomasse (sols et forêts)	Conservation ou changement d'affectation de la forêt du site MédiaPark
SCOPE 2 Emissions indirectes associées à l'énergie	6	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	Émissions économisées grâce au photovoltaïque
SCOPE 3 Autres émissions indirectes de GES	10	Immobilisation des biens	Construction de nouveaux bâtiments : impacts des matériaux de construction, Production des matières premières, Transport jusqu'au site de production. Construction du bâtiment. Maintenance, Remplacement
			Fin de vie : démolition, transport, traitement des déchets, élimination
			Réhabilitation de bâtiments existants : impacts des nouveaux matériaux (pour la rénovation) et des équipements d'installation, Production des matières premières, Transport jusqu'au site de

²⁷ Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de construction.

²⁸ Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method.

		production Construction du bâtiment, Maintenance / Remplacement
		Fin de vie : démolition, transport, traitement des déchets, élimination

Il est notamment utile d'expliquer les différences entre les 2 périmètres pris en compte :

Le rapport d'OVAM a intégré dans le périmètre d'étude de la rénovation les émissions de CO₂ liés aux équipements d'installation (chauffage, ballon d'eau chaude, pompe à chaleur, panneaux photovoltaïques, système de ventilation). Ces équipements ne sont pas intégrés dans l'outil TOTEM, qui considère un chauffage uniquement par une chaudière à condensation au gaz lors de la durée de vie des bâtiments construits.

De plus, dans le cas particulier de la rénovation de bâtiment, le rapport d'OVAM étudie l'impact des matériaux et équipements d'installation ajoutés lors de la rénovation, ainsi que l'énergie d'utilisation relative à ces nouveaux équipements. La contribution du bâtiment déjà existant ainsi de ce qui est retiré et détruit lors de la rénovation n'est pas prise en compte car elle appartient au précédent cycle de vie du bâtiment.

La méthodologie employée dans chacune de ces approches est décrite ci-dessous :

- L'ACV du rapport de l'OVAM a été réalisée avec le logiciel SimaPro qui utilise la base de données Ecoinvent. Cette même base de données est utilisée dans l'outil TOTEM.
- Dans son calcul de bilan carbone, l'outil TOTEM n'intègre pas les éléments "VRD" (Voiries, Réseau de Distribution) et "Autres" du tableau suivant, ce qui représente respectivement 28% et 19% des émissions liées à la construction des immeubles de bureaux et logements²⁹. Pour pallier ce manque et s'approcher de la réalité, un facteur de pondération respectivement de 1,39 et 1,23 a été ajoutée pour la construction des immeubles de bureaux et de logements dans les 2 scénarios.

	Bureaux	Logements collectifs
Superstructure et maçonnerie	28%	40%
Fondations et infrastructures	16%	15%
Façades-menuiseries extérieur	13%	9%
Revêtements-chape	9%	7%
VRD	5%	4%
Cloisonnement-faux plafonds	4%	7%
Couverture-charpente	2%	3%
Autres (CVC, CFO/CFR, ascenseurs, plomberie)	24%	14%

Source : HQE performance

Figure 7 contribution aux émissions de CO₂ par poste

- L'outil TOTEM permet de simuler la construction à étudier, en termes de dimension des bâtiments et des matériaux utilisés, ce qui nous a permis d'étudier les bâtiments du site MédiaPark tels que prévus dans le PAD. En revanche, le rapport d'OVAM fait le bilan

²⁹ Source : Livre blanc du bas carbone, Sintéo, décembre 2016.

carbone de la rénovation d'un bâtiment bien précis (immeuble de 3 étages, constitué de 6 appartements moyens de 97m², construit en 1970 et rénové en 2020³⁰). Afin d'évaluer l'impact de la rénovation de l'entièreté de l'immeuble (toit, sol, fenêtres, murs), l'étude a considéré un appartement fictif moyen. Ce sont les résultats du bilan carbone de cet appartement fictif moyen qui, ramené au mètre carré, sont utilisés dans notre rapport pour estimer le bilan carbone de la rénovation des bâtiments du site MédiaPark et des immeubles de bureaux vacants aux alentours du site.

- L'unité fonctionnelle des 2 approches est le mètre carré, et l'indicateur qui nous permet de comparer les résultats est la tonne équivalent CO₂ (tCO₂eq).
- La durée de vie du bâtiment dans l'outil TOTEM est fixée à 60 ans, et elle est de 30 ans dans le rapport de l'OVAM. Pour pouvoir comparer les résultats des 2 méthodologies sur une durée de vie égale à 30 ans, nous avons divisé par deux les impacts environnementaux liés à l'utilisation du bâtiment (énergie de chauffage) dans les résultats fournis par l'outil TOTEM.
- Le mix énergétique utilisé dans les 2 approches est celui de Belgique (production nationale et importation).

³⁰ Plus de détails aux pages 24 et 25 du rapport.

Annexe 6 : Détails du bilan carbone

Les résultats détaillés du calcul de bilan carbone pour le projet MédiaPark sont donnés ci-dessous pour les deux scénarios.

Figure 8 Résultats détaillés du calcul de bilan carbone

Eléments	Scénario 1 : Projet PAD MédiaPark				Scénario 2 : Alternative bas carbone			
	Construction (tCO ₂ eq)	Consommation (tCO ₂ eq)	Démolition (tCO ₂ eq)	Total (tCO ₂ eq)	Construction (tCO ₂ eq)	Consommation (tCO ₂ eq)	Démolition (tCO ₂ eq)	Total (tCO ₂ eq)
EP01 : Parc								
EP02 : Cimetière								
EP03, EP04, PK : Voirie modes actifs	221	150	14	385	321			321
PK : Parking souterrain	46 244	4 671	2 749	53 665	4 403	442	260	5 105
Site A : Forte mixité	15 274	13 089	538	28 902	6 572	9 569	701	16 842
Site B : Forte mixité	14 135	11 078	484	25 697	6 443	10 488	521	17 452
Site C : Forte mixité/ parking souterrain	19 518	15 914	685	36 116	7 525	12 367	723	20 615
Site D : Forte mixité	5 768	4 283	203	10 254	2 357	3 122	206	5 685
Site E : Média et intérêt public	33 057	21 803	1 153	56 012	13 538	18 437	1 177	33 153
Site F : Ecole/ crèche	7 688	4 097	264	12 050	2 959	5 199	290	8 448
Site G : Forte mixité	12 348	6 665	426	19 439				
Site H : Logement	5 297	10 470	420	16 187				
Site IJK : Logement	14 873	13 069	620	28 561				
Site L : Logement	1 220	965	52	2 237				
Site L' : Média et intérêt public	7 133	5 055	294	12 482				
Site M : Forte mixité	15 977	11 467	572	28 017				
Site N : Forte mixité	10 808	7 462	365	18 635				
Site O : Service public/ intérêt public	25 960	16 304	929	43 193	9 565	11 401	830	21 797
Site P	NA	NA	774	774	4 312	14 896	0	19 208
Site Q	NA	NA	682	682	4 465	15 424	0	19 889
Site RS	NA	NA	858	858	1 848	6 384	0	8 232
Site T : VRT Logistiek	NA	NA	199	199			199	199
Réhabilitation de 441 logements (42779 m ²)					4 449	16 256	0	20 705
Consommation électrique				85 493				39 013
Forêt urbaine existante				9 439				
Forêt urbaine pendant la durée du projet								-1 408
TOTAL	235 522	146 542	12 281	489 277	68 758	123 986	4 906	235 255

Figure 9 Emissions par m2

Emission par m ² , durée de vie de 30 ans	Projet PAD MédiaPark (tCO ₂ eq/m ²)	Alternative bas carbone (tCO ₂ eq/m ²)
Construction de nouveaux bâtiments et consommation énergétique	1,02	0,54
Rénovation énergétique de bâtiments existants et consommation énergétique		0,47

Annexe 7 : Détails sur la conservation de la forêt urbaine

Un autre volet important du bilan carbone est la conservation de la forêt qui se trouve dans le site de la cité audiovisuelle RTBF/ VRT. Le projet du MédiaPark a l'intention d'en conserver 8 hectares. Les pertes du stock de carbone par la réduction de la taille du parc sont calculées avec le WCC carbon calculation spreadsheet mis à disposition par l'organisation Woodland Carbon Code³¹, qui certifie les quantités de carbone séquestrés dans des projets d'afforestation. Le calcul se base sur l'étude phytosanitaire du MédiaPark³² et sur le rapport technique d'impact environnemental.

Dans le scénario alternatif bas carbone, nous assumons que la forêt sera conservée, et que les bâtiments T, G, H, I, J, K, M et N dans le PAD ne seront pas construits. Des bâtiments actuellement non utilisés seront rénovés et offriront un nombre équivalent de logements, de bureaux et d'espaces commerciaux.

En outre de la protection de la biodiversité urbaine, la conservation de la forêt permettra de maintenir et accroître ultérieurement le stockage de carbone par les arbres. Le rapport d'incidences environnementales indique un âge moyen de 55 ans pour les arbres dans cette forêt ; nous avons donc pris un âge de 55 ans pour la forêt. Il faut cependant indiquer que cette hypothèse est plutôt conservatrice car l'âge de la forêt ne correspond pas forcément à l'âge moyen des arbres et le calcul du carbone stocké par la forêt inclut le renouvellement naturel de la forêt.

Partant d'un âge de la forêt de 55 ans, 9 439 tCO₂eq sont actuellement stockées dans les arbres qui peuplent les 8,9 ha de cette forêt. Etant donné que la forêt héberge le terrain de l'ancien Tir National, et qu'une grande partie de celui-ci n'a pas été modifiée depuis ce temps, il est fort probable que la forêt est plus ancienne que les 55 ans hypothétiques de notre scénario. Il est donc possible que la quantité réelle de carbone stocké dans la forêt soit bien supérieure à nos estimations.

La figure 7³³ montre le développement de la forêt sur les dernières 85 années.

Ici, nous aimerions attirer l'attention au fait que la partie centrale de la forêt urbaine s'est boisée au fur et à mesure entre les années 1935 et 2020, et que la partie la plus ancienne, donc la plus importante pour le stockage de carbone, se trouve aux bords nord-est-sud de la forêt. La partie nord-ouest et sud-ouest de cette bordure boisée avait déjà été abattue pour la construction de la cité audiovisuelle ; dans les 50 ans qui se sont écoulées, le centre de la partie est du site s'est transformé en forêt au fur et à mesure.

On constate donc que la construction des blocs F, G, H, IJK et L' du projet MédiaPark aura pour conséquence l'abattage de la partie la plus dense et ancienne de la forêt de l'actuelle cité audiovisuelle.

³¹ www.woodlandcarboncode.uk

³² C. Etude phytosanitaire complémentaire actualisée par des experts du Comité de quartier.

³³ Les orthophotoplans de 1935 - 1996 sont pris du site www.brugis.be; l'image satellite de 2020 vient de Google Maps.

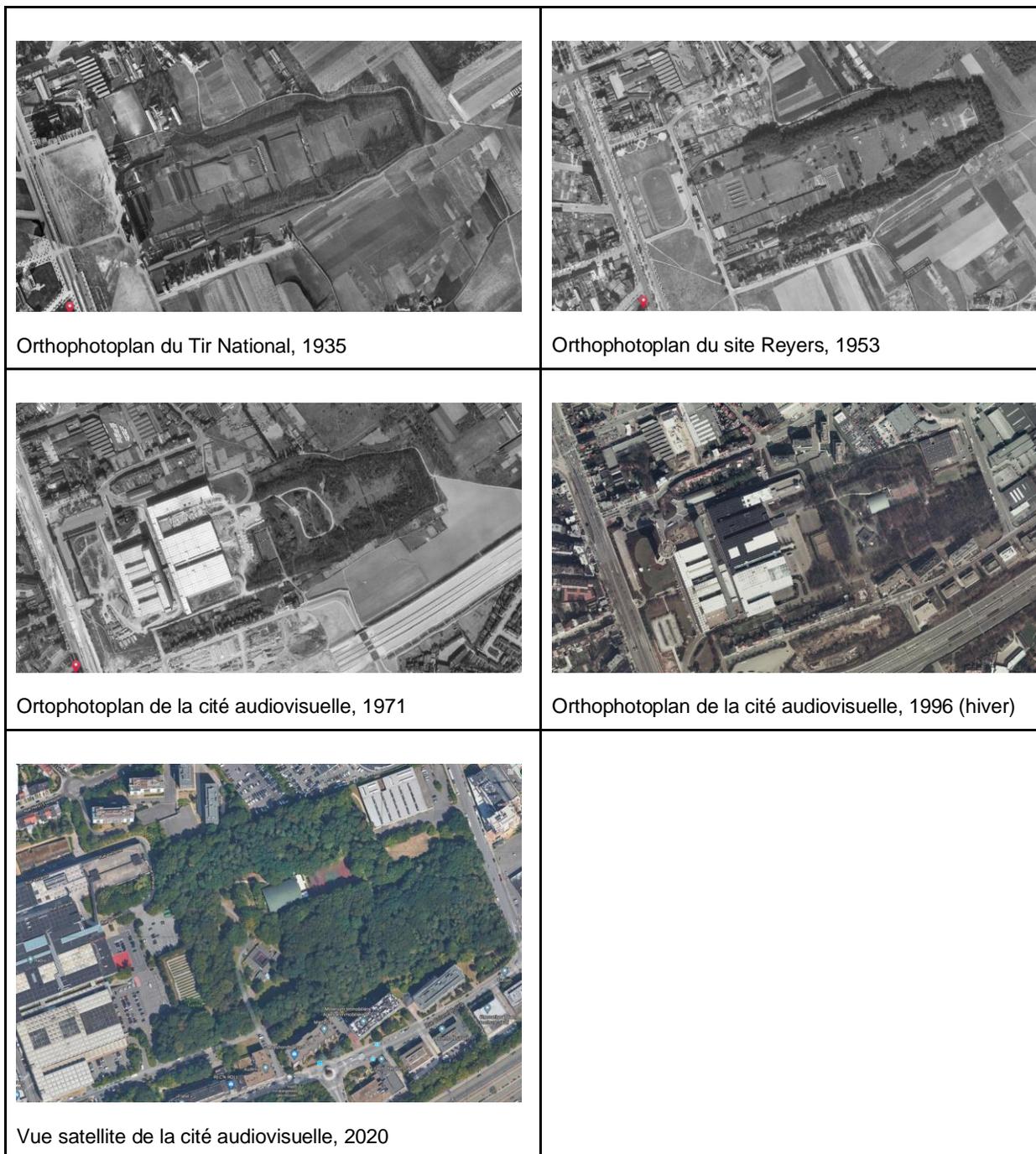


Figure 7 - Développement de la forêt urbaine du Tir National/ de la cité audiovisuelle à travers des années

Le tableau 6 donne un aperçu du carbone stocké par les différentes espèces qui constituent cette forêt. La distribution des espèces est extrapolée sur base du recensement fait dans le Rapport d'Incidences Environnementales pour les arbres à conserver, étant donné qu'un recensement complet de la forêt n'est pas disponible.

Le projet prévoit de ne conserver que 173 des 20 500³⁴ arbres de la forêt, avec l'argument que les 20 327 arbres restants seraient dans un état ne permettant pas leur conservation. Les arbres à conserver sont les deux arbres remarquables répertoriés ainsi qu'un ensemble d'arbres se trouvant centre du terrain. L'étude phytosanitaire commandée par le Comité de Quartier affirme cependant que l'ensemble des arbres constitutifs de la forêt pourraient parfaitement être conservés. Nous prenons cette dernière hypothèse pour le scénario alternatif bas carbone.

Tableau 6 - Calcul détaillé du carbone stocké en fonction de la classe des espèces dans la forêt

Espèce	A conserver	%	Extrapolation sur 8,9 ha	Type d'arbre	Biomasse séquestrée après 55 ans (t)
Erable	13	0,08	0,67	SAB	738
Erable plane	12	0,07	0,62	SAB	681
Erable sycomore	36	0,21	1,85	SAB	2 044
Mamorier d'Inde	1	0,01	0,05	SAB	57
Aulne noir	9	0,05	0,46	SAB	511
Bouleau	12	0,07	0,62	SAB	681
Charme	3	0,02	0,15	BE	150
Aubépine des bois	2	0,01	0,10	SAB	114
Hêtre sylvestre	19	0,11	0,98	BE	949
Frêne élevé	2	0,01	0,10	SAB	114
Magnolia	1	0,01	0,05		
Pommier	1	0,01	0,05	SAB	57
Sapin	1	0,01	0,05	NS	46
Platane	1	0,01	0,05	SAB	57
Merisier des bois	16	0,09	0,82	SAB	909
Prunus cerasifera	2	0,01	0,10	SAB	114
Prunus serulata	2	0,01	0,10	SAB	114
Chêne commun	3	0,02	0,15	OK	130
Chêne rouge	2	0,01	0,10	BE	100
Robinier	21	0,12	1,08	SAB	1 193

³⁴ Ce chiffre est pris du chapitre 11.03.02. du rapport d'incidences environnementales. L'étude phytosanitaire complémentaire commissionnée par le Comité du Quartier donne un nombre total d'arbres de 20 175.

Saule blanc	2	0,01	0,10	SAB	114
Saule pleureur	1	0,01	0,05	SAB	57
Sureau noir	3	0,02	0,15	SAB	170
Taxus baccata	2	0,01	0,10		
Tilleul	6	0,03	0,31	SAB	341
Total	173	1	8,9		9 439

Figure 10 Aperçu des arbres prévus à conserver



Annexe 8 : Détails des calculs des panneaux photovoltaïques et consommation électrique

Par soucis de simplification, nous considérons une consommation d'électricité moyenne de 27kWh/m², ce qui correspond à la consommation maximale dans une habitation passive.

Le calcul du potentiel photovoltaïque des blocs donne les résultats suivants³⁵:

Tableau 7 – bilan carbone de la consommation électrique en fonction de la surface photovoltaïque installée

	Description	Superficie (m ²)	Puissance installée (MWh _p)	Génération d'électricité (kWh/an)	Coefficient de CO ₂ (gCO ₂ /kwh) ³⁶	tCO ₂ eq sur 30 ans
Bâtiment O	Toiture bâtiment O	267	40	78 633	45	106
Scénario projet PAD actuel	Toitures MédiaPark (extrapolation du bâtiment O)	2 654	398	782 020	45	1 056
	Production du réseau	NA	NA	9 288 980	303	84 437
	Total scénario projet PAD actuel	2 654	398	10 071 000	NA	85 493
Scénario alternatif bas carbone	Façade photovoltaïque orientée vers le sud, efficacité des modules en verre : 18 %	5 545	998	709 355	62	1 328
	Façade photovoltaïque orientée vers l'ouest ou l'est, efficacité des modules en verre : 18 %	15 531	2 795	1 377 711	90	3 719
	Toits exposés au soleil	28 120	5 061	4 988 086	45	6 734
	Production du réseau	NA	NA	2 995 848	303	27 232
	Total scénario alternatif bas carbone	49 196	8 854	10 071 000	NA	39 013

³⁵ Tous les calculs de rendement sont faits par l'instrument de calcul sur https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

³⁶ D'après le PEB du nouveau bâtiment de la RTBF et propres calculs pour prendre en compte l'efficacité moindre des panneaux sur les façades en fonction de l'orientation.

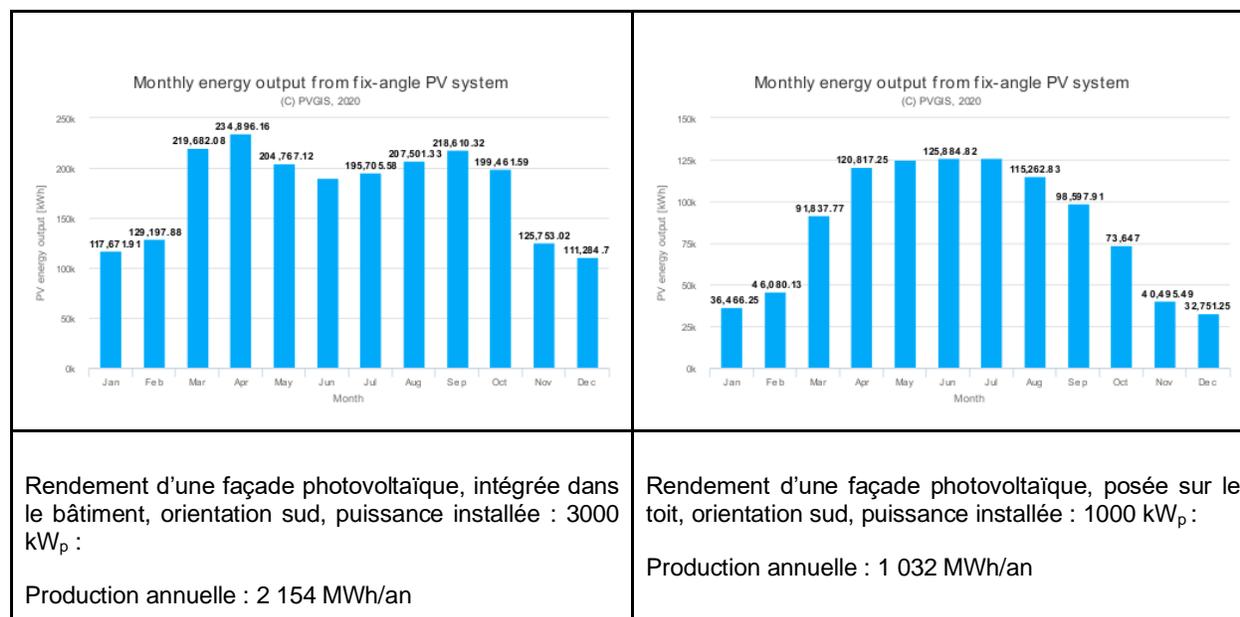
Les émissions de CO₂ liées à la production d'électricité photovoltaïque sont estimées à 45 gCO₂eq/kwh en toiture en analyse cycle de vie³⁷. Dans notre calcul, nous estimons que la production d'électricité photovoltaïque vient en remplacement du mix électrique moyen dont l'intensité carbone est 303 gCO₂eq/kwh (en ligne avec le calcul de PEB du bâtiment O). La production du réseau vient compléter la production photovoltaïque locale.

Sur 30 ans, la consommation d'électricité incluant l'installation des panneaux photovoltaïques couplée au réseau permet d'émettre 39 013 tCO₂eq contre 85 493 tCO₂eq pour le projet de PAD.

Les façades photovoltaïques sont une innovation importante surtout pour les grands immeubles. Dû à leur orientation verticale, elles ont une production d'électricité moindre que les panneaux photovoltaïques classiques, mais la production est beaucoup plus équilibrée sur l'année. Au printemps et en automne, les panneaux verticaux ont un meilleur rendement que ceux montés sur des toits légèrement inclinés. La production d'électricité est donc plus en ligne avec la consommation sur place. De plus, les bâtiments construits en hauteur ont une superficie verticale plus importante que celle de leur toiture pour y installer des panneaux photovoltaïques.

Les graphiques suivants montrent la différence entre le rendement d'une installation verticale et légèrement inclinée (35 °)³⁸, les deux installées à Bruxelles.

Figure 9 - Rendements comparés d'une installation verticale et d'une installation légèrement inclinée à Bruxelles



Pour les bâtiments du scénario alternatif bas carbone, nous faisons l'hypothèse que les blocs A-E et O seront construits, et que les blocs S, P, Q et R seront rénovés. Il serait donc envisageable d'installer des façades photovoltaïques dans les bâtiments > 5 étages orientés vers l'est, sud ou ouest, et des panneaux photovoltaïques sur les toits exposés au soleil (ce qui exclut les toits sur les éléments de 1 ou 2 étages à l'intérieur d'un bloc).

³⁷ Source <https://www.electricitymap.org/map>

³⁸ Source : https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

L'invention de panneaux photovoltaïques colorés, blancs ou dichroïques donne l'option de les intégrer dans des nouvelles constructions et créer une plus-value architecturale. Une entreprise de la région liégeoise (Issol - www.issol.eu) est pionnière dans ce secteur³⁹.

Figure 11 photos d'exemples de façades réalisées par Issol



³⁹ Source : <http://www.issol.eu/fr/colourful-pv-2/>

Annexe 9 : Détails sur la construction en bois

La construction en bois permet de réduire l’empreinte carbone de la construction d’un bâtiment. De plus, le haut degré de préfabrication des modules en bois permet de réduire la durée de construction de manière significative. Le bois est un très bon isolant naturel, il crée un climat intérieur agréable, et les nouvelles technologies de construction permettent aussi la construction d’immeubles très hauts en bois, tout en assurant la sécurité anti-incendie.

Les tours en bois stockent du carbone et contribueront doublement à l’atténuation du changement climatique : en évitant des émissions dues à la production des matériaux, et en stockant du carbone déjà immobilisé dans le bois.

En Belgique, un immeuble d’appartements entièrement en bois est construit à Liège⁴⁰; sans surcoût à la construction. A Dijon en France, un bâtiment d’habitation R+7 est construit en structure bois, isolation paille⁴¹. A Oslo et à Vienne, deux immeubles “hybrides” (75 % bois, le reste de la structure en béton) de plus de 80 m ont été construits.



Figure 12 Le “Mjøstårnet” à Brumunddal en Norvège⁴²



Figure 13 Le “HoHo” à Vienne⁴³

L’adoption d’une telle approche permettrait à Bruxelles à joindre le rang des villes pionnières dans la construction durable et novatrice à grande échelle.

⁴⁰ Source : https://www.rtf.be/info/regions/liege/detail_le-plus-haut-building-tout-en-bois-sur-le-territoire-belge-est-liegeois?id=10431274

⁴¹ Source : <https://www.lemoniteur.fr/article/le-toit-vosgien-inaugure-un-batiment-en-bois-et-paille-de-grande-hauteur.1219384>

⁴² Source : <https://www.moelven.com/mjostarnet/>

⁴³ Source : https://de.wikipedia.org/wiki/HoHo_Wien