

Quartier de la Miséricorde,
Ajaccio

BILAN CARBONE QUARTIER



Version 1 du 20/08/2025

Ludovic Theroude
ludovic.theroude@amoes.com
Marine Querné
marine.querne@amoes.com

SOMMAIRE

1	CONTEXTE.....	3
1.1	Présentation du projet.....	4
1.2	Présentation d'Urban Print	4
1.3	Limites de l'outil Urban Print.....	5
2	HYPOTHESES	7
2.1	Documents sources utilisés	7
2.2	Plan masse.....	7
2.2.1	Bâtiments	9
2.2.2	Espaces extérieurs	11
2.3	Stratégie de base	12
3	PROJET DE REFERENCE ET HYPOTHESES	16
4	RESULTATS – STRATEGIE DE BASE	19
4.1	Score énergie et carbone	19
4.1.1	Energie	20
4.1.2	Carbone.....	22
4.1.3	Autres postes.....	24
4.1.4	Bâtiments et espaces extérieurs	25
4.2	Diagramme de Shapley – aide à la décision	27
4.3	Empreinte carbone habitant	27
4.4	Niveau du label BBCA quartier	28
5	CONCLUSION ET PROPOSITIONS DE VARIANTES	30
6	VARIANTES.....	32
6.1	Matériaux de construction	32

1 CONTEXTE

Le projet de renouvellement de la Miséricorde représente une opportunité de pouvoir d'une part renforcer de manière conséquente l'offre en logement, et d'autre part contribuer à améliorer la desserte du centre-ville à travers la programmation d'un parking relais en ouvrage.

Dans cette perspective, la Miséricorde est un projet stratégique pour la ville, avec les enjeux de redynamisation du centre-ville dans le territoire par l'élargissement de son aire urbaine, avec une programmation résidentielle étoffée, et avec de grandes potentialités en matière de requalification des espaces publics.

La nouvelle offre ne se limite pas à la réalisation de nouveaux logements, le quartier de la Miséricorde prévoit également la programmation d'équipements de proximité et d'équipements rayonnants (centre de formation, bureaux, équipement sportif et commerces...) localisés notamment autour de la place principale au cœur de l'animation du quartier et à proximité immédiate de l'arrivée de la future liaison mécanique avec le centre-ville en partie basse.

La parcelle initiale étant fortement végétalisée et boisée (avec notamment de vastes Espaces Boisés Classés), l'ambition de l'opération de conserver un maximum d'espaces végétalisés et garantir une gestion des eaux pluviales au niveau de la parcelle avec des revêtements perméables.

Par ailleurs, le quartier s'inscrit dans une démarche vertueuse et porte ainsi des ambitions énergétiques et bas carbone fortes. C'est dans cette perspective que s'inscrivent notamment le lancement d'une étude de faisabilité pour la mise en place d'un Réseau de Chaud et de Froid Urbain et d'une mission dédiée à la problématique du réemploi des matériaux de construction.

Dans ce contexte, AMOES, BET Environnement intégré à la MOE sur le projet a pour mission la réalisation d'une Analyse de Cycle de Vie à l'échelle du projet urbain. La mission comporte deux volets :

- Evaluation de l'impact carbone du projet par rapport à un projet de référence
- Etude de variantes permettant d'orienter la SPL Ametarra

Le présent rapport présente les résultats du premier volet de la mission soit le bilan carbone de la version projet. Au moment de l'étude, le groupement MOE a validé la version finale du Plan Guide (Juin 2025).

1.1 | Présentation du projet

Le calcul carbone se base sur la version du plan masse datant de Juin 2025.

Cette étude est destinée à être une aide à la conception pour le groupement.

1.2 | Présentation d'Urban Print

UrbanPrint est un outil d'aide à la décision permettant l'évaluation en analyse de cycle de vie (ACV) des impacts Énergie/Carbone et environnementaux d'un projet d'aménagement urbain en neuf, en rénovation ou mixte. Il permet d'accompagner la collectivité ou l'aménageur dans la définition d'objectifs ambitieux et chiffrés et de l'appuyer dans ses prescriptions aux promoteurs et constructeurs. UrbanPrint est le premier outil de référence pour appliquer la méthode de calcul de la performance Quartier Énergie Carbone développé depuis 2018, notamment par le CSTB et Efficacity, pour l'ADEME.

UrbanPrint possède une interface utilisateur avec une ergonomie intuitive permettant une saisie rapide des données d'entrée. L'outil permet :

- De situer les performances du projet étudié par rapport à une référence et ainsi de vérifier que son « score énergie » et son « score carbone » sont suffisants ;
- D'identifier les meilleurs leviers d'action qui restent à mobiliser ;
- De construire et de comparer plusieurs variantes du projet.

UrbanPrint évalue l'impact de la phase de construction (terrassements, produits de construction, etc.), des consommations d'énergie en phase d'exploitation, des consommations et rejets d'eau, de la mobilité, de la gestion des déchets, etc.

UrbanPrint compare le **quartier « initial »** avec **un quartier de « référence »** basé sur la même localisation, le même programme et les mêmes formes urbaines mais avec des niveaux de performance dits « business as usual » (matériaux classiques type béton/aciers, performance énergétique RT 2012 ou RE2020 selon les usages et dates de dépôt de PC...).

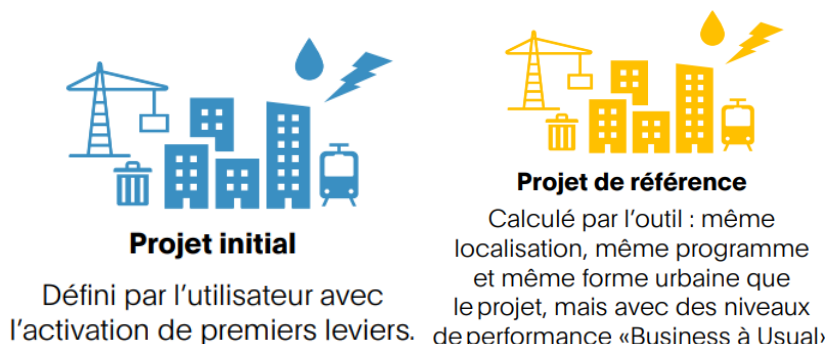


Figure 1 : Comparaison du logiciel entre le projet initial et un projet de référence

Il en résulte le calcul de deux indicateurs principaux :

- **Score Énergie** : Différence en pourcentage entre l'énergie primaire non renouvelable consommée du projet initial (ou d'une variante) et celle du projet de référence.

- **Score Carbone** : Différence en pourcentage entre les émissions de CO_{2eq} du projet initial (ou d'une variante) et celle du projet de référence.

Enfin, l'outil permet également d'identifier les leviers d'action mobilisés et non mobilisés par l'utilisateur ainsi que leur impact et ce afin d'atteindre le **scénario optimal**.



Scénario optimal

Calculé par l'outil qui identifie la combinaison de leviers d'actions encore mobilisables pour atteindre un optimal en terme de performance carbone.

Figure 2 : Le logiciel propose un scénario optimal potentiellement atteint à l'aide de propositions de leviers d'action

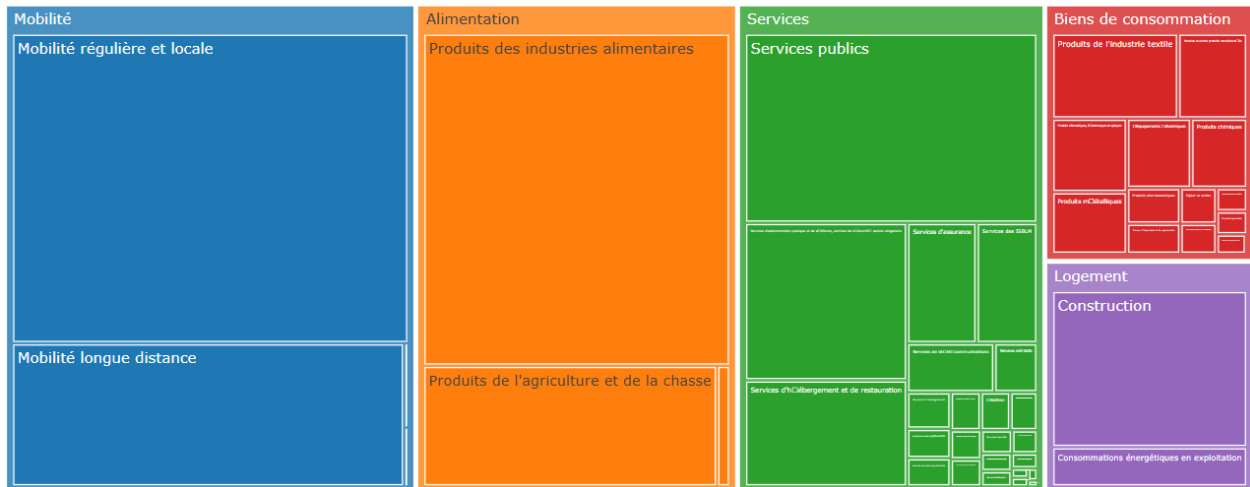
1.3 | Limites de l'outil Urban Print

Dans la cadre de notre mission d'AMO de l'expérimentation ADEME Quartiers Energie Carbone pour l'ADEME nous avons pu tester l'outil sur 22 quartiers et avons pu en apprécier les points forts et les points d'amélioration. Nous listons ci-dessous les limites identifiées nécessaires prendre en compte dans la lecture des résultats transmis :

- Le poids de la mobilité est contextualisé à la localisation du quartier mais pas aux choix de quartier (tel que le nombre de places de stationnement, leur mutualisation...), pour cela l'outil fournit les scores Energie et Carbone « hors mobilité » afin d'évaluer les leviers mis en œuvre sur le quartier
- La saisie sous le logiciel n'est pas dissociée entre espaces publics et espaces privés mais entre les bâtiments et les espaces extérieurs
- La sortie intitulée « Empreinte à l'habitant » est biaisée car certains postes constitutifs de l'empreinte ne sont pas du ressort de l'aménageur ou ne sont pas bien valorisés dans l'outil (mobilité), ainsi l'année de projection par rapport à la trajectoire SNBC n'est pas révélatrice des efforts entrepris sur le projet.

Exemples de postes : Produits de l'industrie textile, produits des industries alimentaires, produits informatiques...

empreinte carbone total d'un habitant du quartier



- Le logiciel ne permet pas une saisie très précise du type de produit de construction mise en oeuvre et les modes constructifs mis en place sur le projet.

Par exemple, la saisie ne permet pas de renseigner les modes constructifs par lot de produit de construction mais uniquement de caractériser au global la superstructure, et les différentes options possible sont limitées à 3 choix : classique, mixte ou biosourcé.

- Le type de produits de constructions ne sont pas corrélés à la date de dépôt de PC renseignée pour chaque bâtiment. Autrement dit, c'est uniquement le paramètre « Matériaux de construction » qui permet d'adapter la performance carbone des produits de construction et non une combinaison avec la date de dépôt de PC qui, dans les faits, impose une contrainte réglementaire de seuil carbone à viser dans le cadre de la RE2020.
- L'utilisation de matériaux de réemploi en produits de construction (hors usage des terres de remblai) n'est pas comptabilisée dans le bilan carbone alors que ces derniers sont valorisés dans les méthodologies de calcul (réglementation et labels) à l'échelle des bâtiments.

2 HYPOTHESES

2.1 | Documents sources utilisés

Afin de réaliser ce bilan carbone, les données suivantes ont été exploitées pour la modélisation :

- Plan masse en date du 11/06/2025
- Bilan global des surfaces
- Plan des niveaux de parking

2.2 | Plan masse

La version du Plan Masse réalisé par les architectes est présentée ci-dessous.

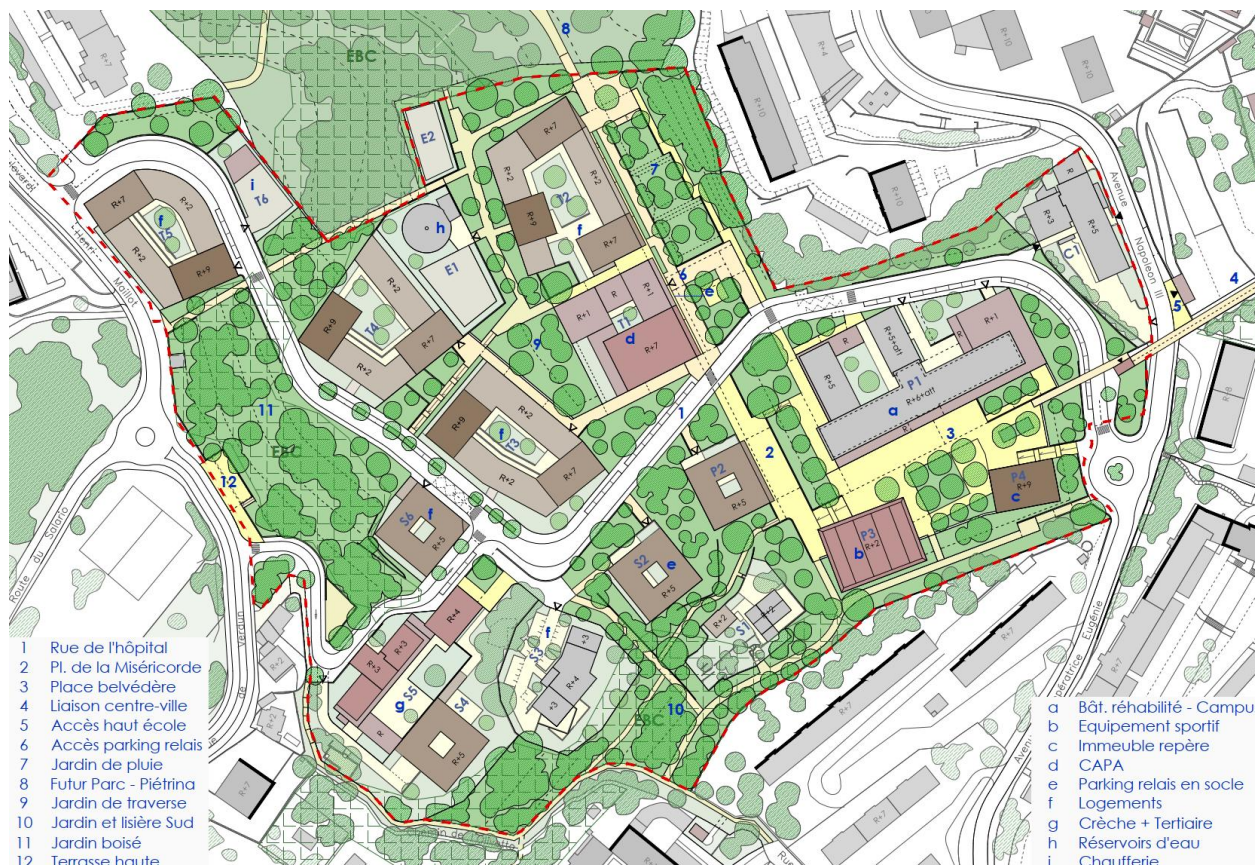


Figure 3 : Plan masse du quartier de la Miséricorde (version Architecte Juin 2025)

Le plan masse modélisé sous le logiciel Urban Print est présenté ci-dessous avec un fond de plan OpenstreetMap pour pouvoir visualiser les bâtiments démolis :

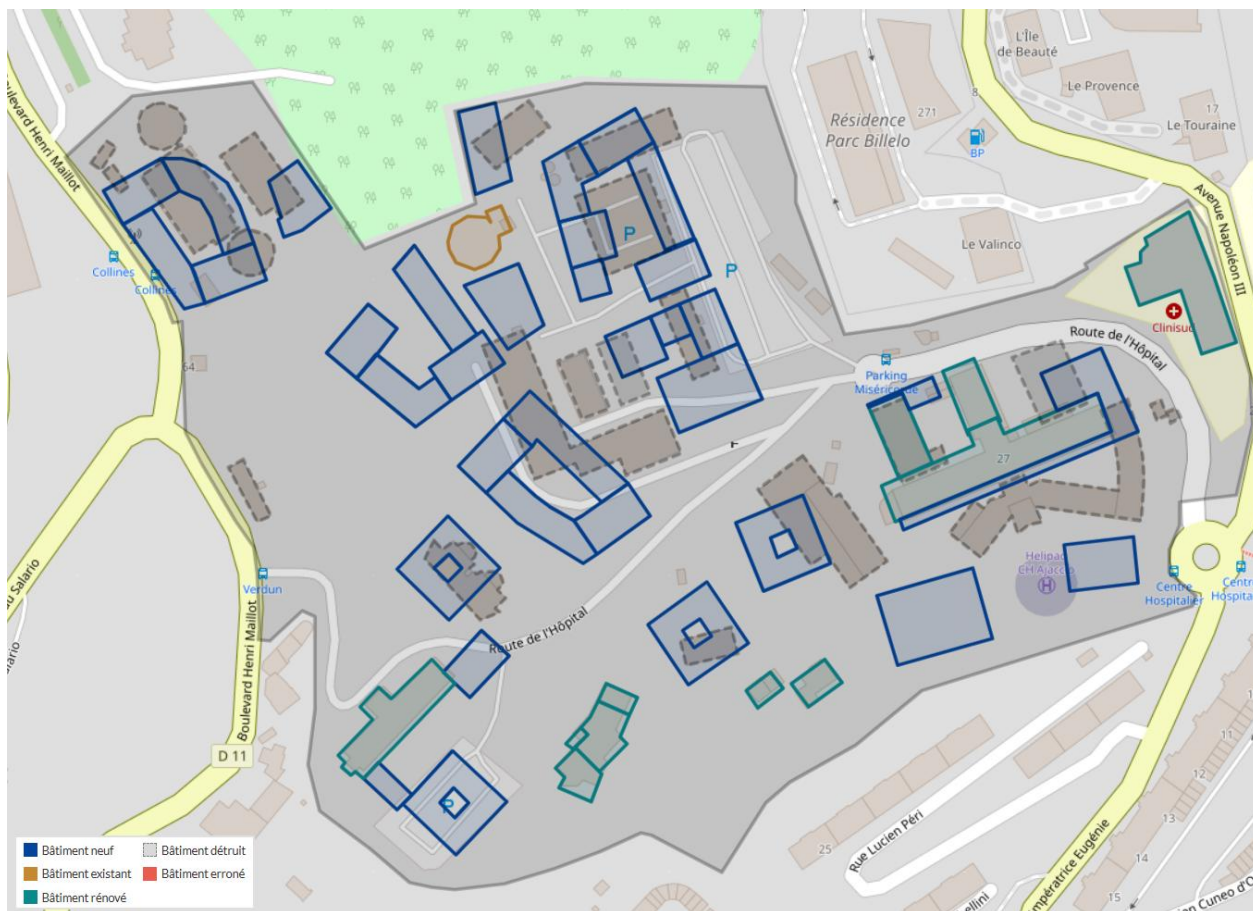


Figure 4 : Plan masse du quartier de la Miséricorde dessiné sur UrbanPrint

On peut voir sur le plan masse que les bâtiments en pointillés gris sont les bâtiments existants qui vont être démolis lors de l'opération. En vert, on retrouve les bâtiments existants réhabilités avec le bâtiment Clinisud, le bâtiment de l'hôpital, la crèche et la résidence au Sud-Ouest de la parcelle. On retrouve en bleu les bâtiments à construire et leurs multiples niveaux. Enfin, on voit en orange l'unique bâtiment les bâtiments conservés en l'état ou non rénovés/non démolis, le réservoir d'eau potable.

Comme il a été vu dans les limites du logiciel, nous n'avons pas de visuel sur les espaces extérieurs (parcs, restanques, cœurs d'îlot etc.), on peut néanmoins voir certains espaces boisés classés qui sont déjà présents et seront conservés donc apparaissent sur le plan.

Périmètre :

Le périmètre du projet saisi dans le logiciel correspond au périmètre de l'opération représenté par la limite et l'aplats gris en transparence sur le plan masse.

Ci-dessous une vue du plan de masse qui exclut les bâtiments démolis avec le plan masse architecte en fond en transparence :



2.2.1 | Bâtiments

Une fois le périmètre créé, le logiciel récupère automatiquement certains bâtiments à l'aide de la base de données nationale des bâtiments ([site](#)). Dans le périmètre du projet, le logiciel n'a détecté que les bâtiments Clinisud, l'internat, un bâtiment des services techniques et une annexe de l'hôpital. Pour les deux derniers, ces bâtiments seront démolis (représentés en pointillés gris), pour les deux premiers, nous avons vérifié que les données et les surfaces étaient correctes avec les données du projet et avons ajusté ces dernières si besoin.

Pour les bâtiments de logements neufs, nous avons modélisé :

- Un rez-de-chaussée de **2,50m** de hauteur avec en majorité des logements (une partie de commerces a été saisie pour les bâtiments P1, P2, S4 et P4)
- Des étages de **2.50m** de hauteur, consacrés à des logements collectifs

Pour les bâtiments tertiaires neufs, nous avons modélisé :

- Un rez-de-chaussée de 3m de hauteur avec des commerces en pied d'immeuble pour les lots
- Des étages de **3m** de hauteur, consacrés à des activités tertiaires

La nature initiale des sols sur lesquels vont être construits les nouveaux bâtiments, diffère en fonction des bâtiments et de leur localisation.

Ci-dessous, un plan de repérage des différentes zones approximatives (en violet) considérées pour les sols à l'état initial considérés comme surfaces imperméabilisées.

Les abords des bâtiments ont été considérés en surface artificielle végétalisée et le reste des espaces extérieurs en « prairie arborée ».



Figure 5 : Plan masse de l'existant avec repérage des zones imperméabilisées

Les années de dépôt de PC ont été échelonnées entre 2028 et 2030 en fonction des groupes de bâtiments apparaissant dans le phasage du Plan Guide, à savoir :

- Phase 1 / 2028 : Construction de la chaufferie, des réservoirs d'eau, du lot P3 (équipement sportif et P4 (logements). Rénovation des lots P1 et C1.
- Phase 2 / 2029 : Construction des lots T1 (Bureaux) et T2 (Logements)
- Phase 2 / 2030 : Construction du reste des bâtiments (T3, T4, T6, S2, S6, P2, S4 et S5) et rénovation des bâtiments des lots S1, S3 et S5

Ce point est essentiel et devra éventuellement être mis à jour ultérieurement car les dates de dépôt de PC impactent la performance du projet de référence puisque la RE2020, applicable aux nouvelles constructions résidentielles, prévoit des seuils progressifs sur les indicateurs Ic, construction et Ic, énergie (2022, 2025, 2028, 2031).

Le logiciel définit la SHAB créée à partir du tracé et du renseignement du nombre de niveaux. Nous avons pu modifier ce champ pour nous approcher au mieux du tableau des surfaces transmises par Germe & Jam. Nous avons constaté, à ce stade, un certain écart entre les estimations de surface établies par les architectes et les calculs issus du dessin des bâtiments dans le logiciel.

La répartition des typologies de logement respecte au maximum les orientations du Programme Local de l'Habitat en voie de finalisation (PLH3 2024 - 2029), ce qui donne :

- 25% T1/T2
- 65% T3/T4
- 10% T5+

Et la répartition selon les destinations de logement :

Bâtiment	T1	T2	T3	T4	T5+	Social
Bâtiments de logement hors P1	5 %	5 %	40 %	40 %	10 %	25 %
Résidence étudiante P1	90 %	10 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tableau 1 : Répartition des typologies de logement

2.2.2 | Espaces extérieurs

Le logiciel ne distingue pas les lots publics des lots privés mais seulement les bâtiments des espaces extérieurs. Les espaces extérieurs peuvent être de deux natures : surfaciques (parcs, cœurs d'îlot) ou linéaires (routes, trottoirs). Le logiciel permet de mesurer sur plan les longueurs et les surfaces de ces espaces sur le plan masse même s'il ne les fait pas apparaître ce qui permet de saisir des données cohérentes.

Ci-dessous, un tableau synthétise les différents espaces extérieurs saisis et leurs caractéristiques :

Nom	Type	Statut	Usage initial	Usage projet	Surface	Type d'espace piétonnier	Arrosage	Eclairage
Place principale Miséricorde	Surfacique	Neuf	Parc minéral	Parc minéral	5 530,00 m ²	20% pavés, 80 % stabilisé	Optimisé	Avec arrêt partiel
Place haute parking relais	Surfacique	Neuf	Parking	Zone humide	3 562,00 m ²	20% pavés, 80 % stabilisé	Optimisé	Avec arrêt partiel
Parking résidence S3	Surfacique	Existant	Parking	Parking	689,00 m ²	100% asphalte	Non arrosé	Avec arrêt de nuit
Terrassement abords bâtiments	Surfacique	Neuf	Prairie	Parc minéral	5 000,00 m ²	100% asphalte	Standard	Avec arrêt partiel
Espace Résiduel	Surfacique	Existant	Prairie arborée	Prairie arborée		100% sol stabilisé	Non arrosé	Nuit complète

Nom	Type	Statut	Usage initial	Type de voirie	Longueur	Surface	Nb de voies	Bande stationnement	Nb trottoirs	Piste cyclable	Bande végétalisée	Type d'espace piétonnier
Route principale	Linéaire	Déjà existant	Surface imperméabilisée	Voie desserte	522,00 m	6 264,00 m ²	2	0	2	Non	0	Trottoir asphalte
Route secondaire	Linéaire	Neuf	Forêt	Voie desserte	253,00 m	3 036,00 m ²	2	0	2	Non	0	Trottoir asphalte
Chemin bas hôpital	Linéaire	Neuf	Surface artificielle végétalisée	Chemin	350,00 m	1 050,00 m ²	0	0	1	Non	0	Trottoir pavés
Chemins entre logements T	Linéaire	Neuf	Surface imperméabilisée	Chemin	400,00 m	2 000,00 m ²	0	0	1	Non	1	Trottoir pavés

Figure 6 : Saisie différents espaces extérieurs du projet (surfaciques et linéaires)

Un plan de repérage de ces espaces extérieurs est également présenté ci-dessous :

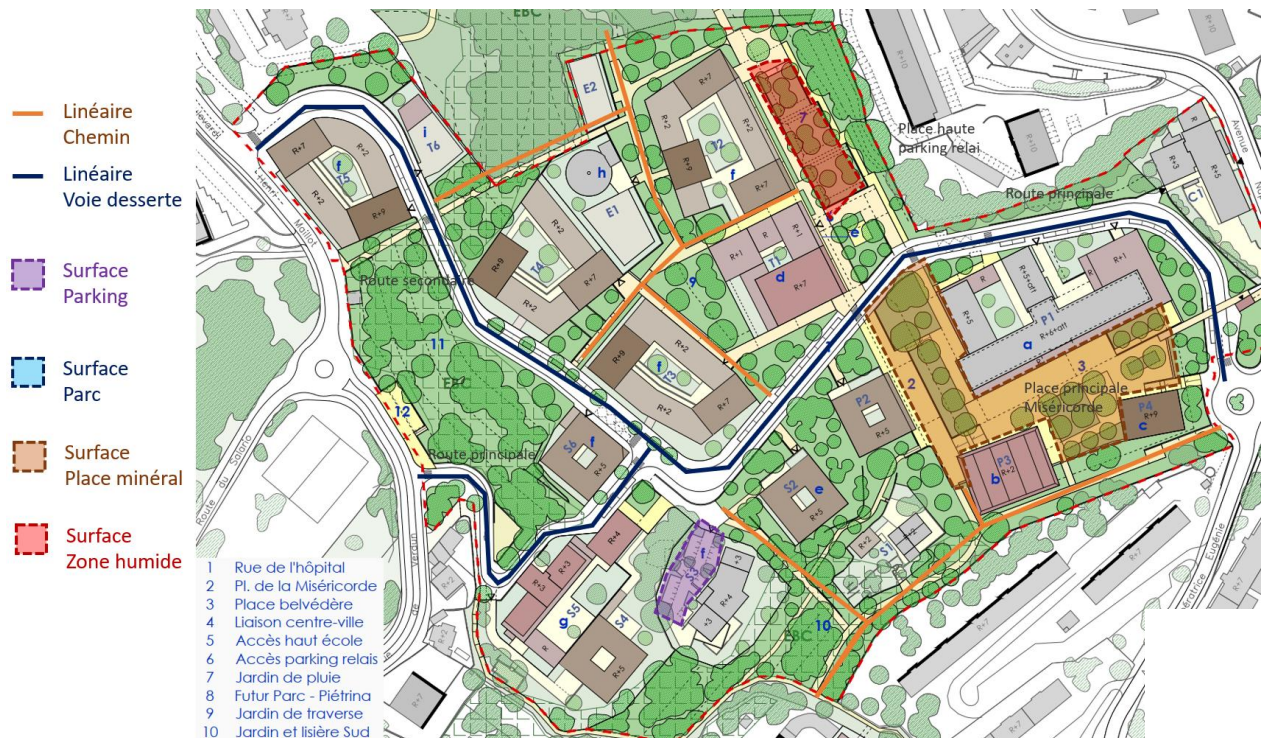


Figure 7 : Plan de repérage des espaces extérieurs

Il peut être pertinent de rappeler qu'il n'est pas prévu d'étudier de variante sur la conception des espaces extérieurs qu'aucune des variantes étudiées n'a d'influence sur les espaces extérieurs. En effet, la stratégie du projet d'aménagement paysager vise déjà un objectif ambitieux et s'attache à conserver et créer le plus d'espaces de pleine terre et végétalisés au vu des contraintes de programmation du projet.

2.3 | Stratégie de base

Il y a plusieurs échelles de stratégie pour chaque variante :

- La stratégie quartier : on renseigne essentiellement des éléments sur le traitement des eaux, des déchets et la gestion des terres de terrassement lors du chantier.
- La stratégie bâtiments : elle comprend tout ce qui concerne les systèmes (chauffage, eau chaude), les produits de construction (matériaux, isolation, infrastructures) ainsi que la gestion de l'eau et des déchets au sein du bâtiment.
- La stratégie espaces extérieurs : elle comprend l'éclairage, les typologies constructives de la voirie notamment et de l'arrosage des espaces verts.

Pour la présentation des trois échelles de stratégie, des tableaux récapitulatifs sont présentés par la suite et permettent de faire apparaître les différences avec la stratégie de base.

Stratégie Quartier

QUARTIER	Traitement de l'eau	Eau usée	Mode de traitement des eaux usées	Station d'épuration centralisée
			Mode de traitement des boues d'épuration	Epandage
			Taux de perte du réseau d'eau usée	2%
		Eau potable	Mode de traitement des boues de potabilisation	Stockage
			Taux de perte du réseau d'eau potable	17%
		Traitement des déchets		Mode principal de collecte
	Mode principal de traitement des déchets organiques			Pas de collecte spécifique
	Chantier	Gestion des terres	Méthode d'évaluation du volume de terre	Personnalisé
			Stratégie de réemploi in situ	Très élevée - 30%
			Stratégie d'export des terres	Vers un site de stockage
			Export vers site de réemploi	0%
		Transport des terres de terrassement		Routier

Tableau 2 : Hypothèses saisies dans le logiciel Urban Print au niveau Quartier

Le tableau ci-dessus récapitule les informations entrées dans le logiciel au niveau Quartier pour la rubrique « Stratégie » du Logiciel.

Les données de traitement des eaux a été complété sur la base d'informations obtenues auprès de la SPL d'Ajaccio.

Concernant le mode de traitement des boues d'épuration, le logiciel ne permettait pas de saisie plus proche de la situation réelle qui est en premier lieu un traitement biologique (MBBR) puis une déshydratation des boues sur place par centrifugeuses et enfin évacuation vers une plateforme de compostage, tandis que les eaux traitées sont rejetées en mer.

Sur la gestion des terres de chantier, une estimation précise des volumes de terre a été réalisé :

- Production de terre d'excavation (espaces publics + lots) = 125 380 m³
- Besoins en terres de remblais (espaces publics + lots) = 48 930 m³

A ce stade du projet, il reste des incertitudes sur la faisabilité de réemploi in situ des terres, notamment sur les hypothèses de phasage possibles (en attente des retours de l'étude géotechnique) ainsi qu'au regard de la caractérisation encore inconnue de la qualité/pollution des sols en place. Il y a tout de même une ambition forte sur ce sujet et une hypothèse de réemploi élevée (tout en restant conservateur) a été retenue.

Pour le moment aucun site ou filière n'a été identifié pour du réemploi de terres, donc l'hypothèse retenue est du stockage "classique". Ce point pourra probablement être amélioré et affiné en coordination avec les autres chantiers de la SPL Ametarra dans la ville.

Stratégie bâtiments – Systèmes

La saisie de la stratégie au niveau des bâtiments est la saisie précise des différents paramètres pour chaque bâtiment. Cette stratégie se divise en 4 thèmes, le premier thème portant sur **les systèmes**.

SYSTEMES			Logements	Tertiaire
	Chauffage	Chauffage prévu	OUI	OUI
		Mode de production	Collectif à l'échelle du quartier	Collectif à l'échelle du quartier
		Source de chaleur réseau	Réseau Chaud et Froid urbain	Réseau Chaud et Froid urbain
		Système d'appoint	Aucun	Aucun
	Refroidissement	Climatisation	Non	Oui
		Mode de production	-	Collectif à l'échelle du quartier
		Source de froid réseau	-	Réseau Chauffage Froid urbain
		Système d'appoint	Aucun	Aucun
	ECS	Eau chaude sanitaire	OUI	OUI
		Mode de production	Collectif à l'échelle du quartier	Collectif à l'échelle du quartier
		Système de production principal	Réseau Chauffage Froid urbain	Réseau Chauffage Froid urbain
		Système d'appoint	Aucun	Aucun
	Production solaire photovoltaïque	Localisation	Pour les bâtiments > R+6	Pour les bâtiments > R+6
		Surface de toiture	25%	25%
	Ventilation	Système de ventilation	VMC Simple Flux	VMC Double Flux
		Système de ventilation parking sous terrains dédié	Ventilation mécanique non régulée	Ventilation mécanique non régulée
	Eclairage	Stratégie d'éclairage des parking souterrains	Standard	Standard

Tableau 3 : Hypothèses systèmes saisies dans le logiciel Urban Print au niveau des bâtiments du projet

A ce stade du projet, une étude de faisabilité pour la création d'un Réseau de Chaud et de Froid Urbain est en cours. Cependant, les résultats de l'étude n'ont pas encore été diffusés.

Au vu des ambitions environnementales du quartier, l'hypothèse qui a été retenue pour l'étude est que le Réseau de Chaud et de Froid Urbain dessert tous les bâtiments du quartier pour le chauffage, l'ECS et la climatisation pour certains bâtiments. Les caractéristiques du futur Réseau de Chaleur n'étant pas connues, nous avons considéré un mix énergétique qui nous paraît cohérent pour un RCU en France dans une projection à 2028-2030 avec un mix constitué à 70% de géothermie et 30% de gaz (pour le chaud) et 30% par un groupe de froid PAC (pour le froid). Ces hypothèses seront mises à jour lorsque les résultats de l'étude seront disponibles.

Seules les toitures des bâtiments élevés (> R+6) ont été équipées de panneaux photovoltaïques, en raison de la volonté de végétaliser les toitures plus basses et les risques d'encombrements dû aux équipements.

Des systèmes de ventilation simple flux seront installés dans les logements pour les débits réglementaire même si une ventilation naturelle efficace sera recherchée pour garantir un bon confort d'été.

Les locaux tertiaires seront quant à eux équipés de ventilations double flux. Ces ventilations double flux pourront éventuellement couplées à des systèmes de puits climatiques.

Stratégie bâtiments – Construction

PRODUITS DE CONSTRUCTION	Superstructure	Performance énergétique visée		Elevée (Re2020 ou E1-E2)
		Principaux matériaux de construction		Matériaux classiques
		Façade et baies	Type d'isolation	Extérieure
			Niveau d'isolation	0,25
			Inertie	Moyenne
			Balcon	OUI
			Ratio de surface vitrée	20%
			Type de vitrage	Double vitrage
			Occultation extérieure	OUI
		Plancher haut ou toiture	Type d'isolation	Extérieure
			Niveau d'isolation	0,15
			Inertie	Moyenne
		Plancher bas	Type d'isolation	Extérieure
			Niveau d'isolation	0,33
			Inertie	Lourde
	Infrastructure	Type de fondations	Semelles filantes	
		Nombre de niveaux souterrains	A définir par bâtiment	
Dédiés au parking		A définir par bâtiment		
EAUX	Récupération d'eau de pluie		Par défaut non	

Tableau 4 : Hypothèses produits de construction saisies dans le logiciel Urban Print au niveau des bâtiments du projet

Concernant les matériaux de construction, le contexte Ajaccien des projets de construction nous incite à considérer une hypothèse conservatrice avec une majorité de matériaux de construction conventionnels. La difficulté d'approvisionnement en matériaux biosourcés et les peu de filières locales ne permettent pas à ce stade de considérer des hypothèses très ambitieuses. Le fait que les bâtiments seront construits après 2028 et donc avec la contrainte de respecter les seuils 2028 de la RE2020 devraient tout de même imposer une part incompressible de matériaux biosourcés.

Concernant la saisie possible sur le logiciel pour les modes constructifs, l'outil nous permet de choisir entre les modes « classique », « mixte » et « biosourcé » :

- Matériaux classiques : béton, béton armé
- Matériaux mixtes : Structure mixte ossature en bois massif et voile béton / PH béton / PI béton ou bois / PB béton ou bois
- Matériaux biosourcés : Ossature bois massif / PH béton / PI bois / PB bois ou béton

Les niveaux de parking sont saisis à l'échelle de chaque bâtiment et sont tous affectés en niveaux souterrains à des bâtiments neufs du projet, avec un nombre total de places créé d'environ **1 250** sur l'ensemble du quartier.

Par ailleurs, à ce stade, aucune réutilisation des eaux pluviales (pour usage extérieur ou intérieur) n'est considérée en base compte tenu de l'incertitude sur le sujet. Cependant, compte tenu des contraintes fortes de densité et de construction sur les ilots qui limitent la place pour le stockage et l'importance de la question de la ressource en eau sur le territoire, c'est un sujet qui devra être étudié et présenté en variante.

3 PROJET DE REFERENCE ET HYPOTHESES

Le projet de référence correspond à la version « business as usual » du projet. Néanmoins, ce projet prend en compte la réglementation en fonction de l'année de construction des bâtiments. Il ne prend donc pas forcément les pires hypothèses d'un point de vue énergie/carbone. Ce n'est donc pas le « pire » quartier possible mais bien une référence qui suit la réglementation.

Le projet de référence utilise exactement le même plan de masse que les autres stratégies, il en établit une par défaut en fonction des dates de construction des bâtiments.

Stratégie Quartier

QUARTIER	Traitement de l'eau	Eau usée	Mode de traitement des eaux usées	Station d'épuration centralisée
			Mode de traitement des boues d'épuration	Epandage
			Taux de perte du réseau d'eau usée	20%
		Eau potable	Mode de traitement des boues de potabilisation	Epandage
			Taux de perte du réseau d'eau potable	20%
	Traitement des déchets	Mode principal de collecte	Porte à porte	
		Mode principal de traitement des déchets organiques	Pas de collecte spécifique	
	Chantier	Gestion des terres	Méthode d'évaluation du volume de terre	Automatique
			Stratégie de réemploi in situ	Faible
			Stratégie d'export des terres	Vers un site de stockage
			Export vers site de réemploi	0%
			Stratégie d'import des terres	Depuis une carrière
			Import depuis autre chantier	0%
		Transport des terres de terrassement		Routier

Tableau 5 : Hypothèses du quartier saisies dans le logiciel Urban Print pour le scénario de référence

Stratégie bâtiments – Systèmes

SYSTEMES			Logements	Tertiaire
	Chauffage	Chauffage prévu	OUI	OUI
		Mode de production	Collectif à l'échelle du bâtiment	Collectif à l'échelle du bâtiment
		Combustible principal de chauffage	Electricité	Electricité
		Système de production principal	PAC air / eau	PAC air / eau
		Système d'appoint	Aucun	Aucun
	Refroidissement	Climatisation	Non	Oui
		Mode de production	-	Collectif à l'échelle du bâtiment
		Source de froid réseau	-	PAC air / eau collective
		Système d'appoint	Aucun	Aucun
	ECS	Eau chaude sanitaire	OUI	OUI
		Mode de production	Collectif à l'échelle du bâtiment	Collectif à l'échelle du bâtiment
		Système de production principal	PAC électrique collective ou dble service	PAC électrique collective ou dble service
		Système d'appoint	Aucun	Aucun
	Production solaire	Localisation	Aucun	Aucun
		Surface de toiture	0%	0%
	Ventilation	Système de ventilation	VMC Simple Flux	VMC Double Flux
		Système de ventilation parking sous terrains dédié	Ventilation mécanique non régulée	Ventilation mécanique non régulée
	Eclairage	Stratégie d'éclairage des parking souterrains	Standard	Standard

Tableau 6 : Hypothèses des systèmes saisies dans le logiciel Urban Print pour le scénario de référence

Il est intéressant de noter que le scénario de référence considère des PAC air / eau en systèmes de base pour le chauffage et le refroidissement. Ces systèmes sont déjà considérés comme des systèmes performants et peu carbonés à l'usage.

Les logements ne sont pas équipés de systèmes de climatisations dans ce scénario, seuls les bâtiments tertiaires possèdent une climatisation des locaux.

Stratégie bâtiments – Construction

PRODUITS DE CONSTRUCTION	Superstructure	Performance énergétique visée		Elevée (Re2020 ou E1-E2)	Elevée (Re2020 ou E1-E2)
		Principaux matériaux de construction		Matériaux classiques	Matériaux classiques
		Façade et baies	Type d'isolation	Intérieure	Intérieure
			Niveau d'isolation	0,26	0,26
			Inertie	Moyenne	Moyenne
			Balcon	NON	
			Ratio de surface vitrée	21%	31%
			Type de vitrage	Double vitrage	Double vitrage
			Occultation extérieure	OUI	NON
		Plancher haut ou toiture	Type d'isolation	Intérieure	Intérieure
			Niveau d'isolation	0,16	0,16
			Inertie	Moyenne	Moyenne
		Plancher bas	Type d'isolation	Intérieure	Extérieure
			Niveau d'isolation	0,22	0,22
			Inertie	Moyenne	Moyenne
	Infrastructure	Type de fondations	Puits de fondation		
		Nombre de niveaux souterrains	1	3	
		Dédiés au parking	1	3	
EAUX	Récupération d'eau de pluie			Non	Non

Tableau 7 : Hypothèses des produits de construction saisies dans le logiciel Urban Print pour le scénario de référence

Le scénario de référence considère une isolation intérieure pour tous les types de paroi. Ce type d'isolation est moins performant au regard de la gestion des ponts thermiques mais également en termes d'inertie que l'isolation par l'extérieure.

Le ratio de surface vitrée est bien plus important en tertiaire qu'en logement.

Les niveaux d'isolation sont globalement assez proches du scénario projet, ce qui n'est pas très étonnant vu que le seuil réglementaire à respecter et le seuil 2028, qui est relativement ambitieux d'un point de vue énergétique.

On observe que pour les bâtiments de logements, seul un niveau de parking souterrain est considéré, ce qui est bien plus bas que les hypothèses de notre projet.

4 RESULTATS – STRATEGIE DE BASE

4.1 | Score énergie et carbone

Définition des scores :

- Le **score Carbone** compare le potentiel de changement climatique du projet, exprimé en kgCO₂e/an, avec la référence. Sont pris en compte les impacts des ouvrages construits, rénovés ou déjà existants ainsi que les espaces extérieurs selon 6 contributeurs : Energie / Produits de construction et équipements / Eau / Déchets / Mobilité / Chantier pour une durée de référence de 50 ans.

Les scores Carbone sans mobilité suivent les mêmes tendances que les scores Carbone mais de façon plus marquée. En effet, le poste mobilité est, à ce jour, parfaitement identique à la référence, sa prise en compte a pour effet de lisser les écarts entre le projet et la référence.

Remarque concernant le calcul d'impact de la mobilité : les distances de déplacement prises en compte correspondent à des valeurs moyennes sur la commune déterminée en fonction de la géolocalisation du projet. La programmation du projet et en particulier la présence d'équipement de proximité ou d'infrastructure de transport faiblement carboné n'est pas prise en compte aujourd'hui.

Le score carbone sera fortement impacté par la réglementation en vigueur au moment du dépôt de PC. En effet, le projet de référence est conforme à la réglementation. Il va donc évoluer dans le temps avec elle. Ainsi un même projet obtiendra un score Carbone différent selon la date de dépôt de PC. Le score Carbone sera d'autant moins bon que la réglementation en vigueur sera exigeante.

- Le **score Énergie** compare les consommations d'énergie primaire non renouvelable du projet, exprimées en MJ/an, avec celles du projet de référence. Cette consommation prend en compte la phase d'exploitation et l'énergie grise des matériaux utilisés. Comme vu précédemment pour les scores Carbone, les score Energie sans mobilité suivent les mêmes tendances que les scores Energie mais de manière plus marquée.

Un score Énergie négatif traduit une consommation d'énergie primaire du projet est inférieure à la référence. Nous n'avons pas, à ce stade de l'expérimentation, rencontré le cas d'un score énergie positif, c'est-à-dire d'un projet consommant plus d'énergie primaire que la référence. On peut imaginer que le secteur de la construction s'est pleinement approprié les thématiques de l'économie d'énergie et de l'isolation performante, soutenues par les réglementations antérieures.

Score Carbone	?	Score Carbone sans la mobilité	?
1	%	2	%

Score Energie (Exploitation + Grise)	②	Score Energie (Exploitation + Grise) sans la mobilité	②
-4,4	%	-5,9	%

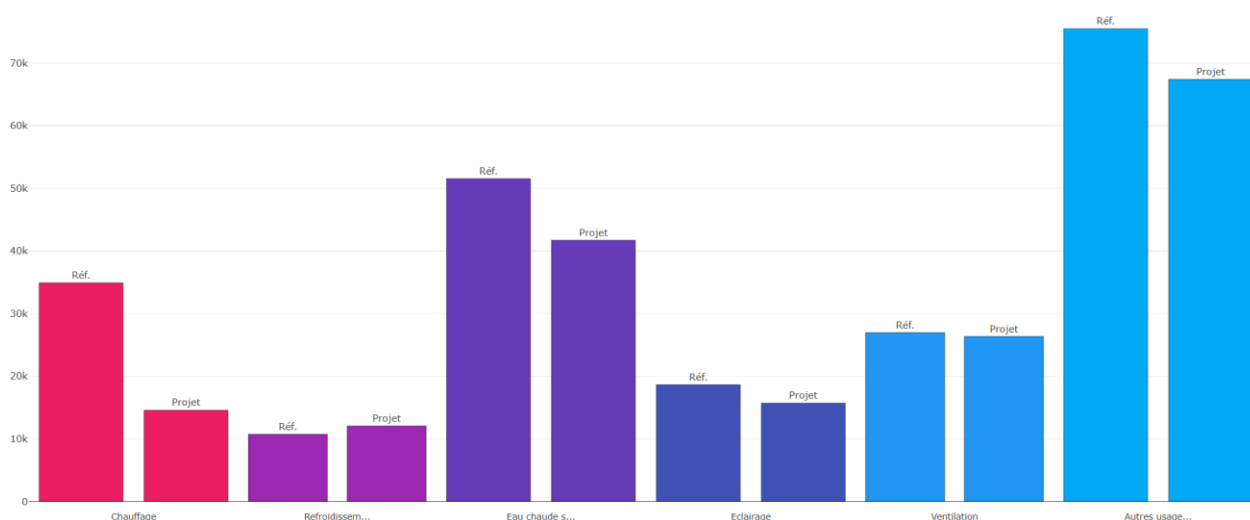
Figure 8 : Scores Carbone et Energie du projet en base

4.1.1 | Energie

On observe que le projet est **plus performant** (au regard de l'impact carbone) que la référence sur le volet **Energie**, ce qui confirme que le réseau de chaleur saisi est plus performant moins carboné que les PAC air/eau du scénario de référence mais ce point devra être affiné et mis à jour lorsque les conclusions de l'étude de faisabilité sur le réseau de chaleur seront disponibles.

Cette meilleure performance peut également venir de la performance de l'enveloppe du projet qui est légèrement meilleure que la référence.

De plus, contrairement à la référence, le projet possède une production d'électricité renouvelable par les panneaux photovoltaïques en toiture, ce qui permet de fournir de l'électricité locale et baisser les consommations électriques, avec un taux d'autoconsommation¹ de 99% au niveau du quartier (calculé automatiquement par le logiciel). Le taux d'autoproduction² du quartier est de 9% des consommations électriques.

Figure 9 : Impact carbone (kgéqCO₂/an) des systèmes énergétiques du quartier ; Référence à gauche et Projet à droite

¹ Le taux d'autoconsommation est la part d'électricité produite par les panneaux solaires consommée sur place par rapport à la part d'électricité produite par les panneaux. Plus il est élevé, plus l'énergie produite est consommée sur place et plus la revente est faible.

² Le taux d'autoproduction est la part d'électricité produite par les panneaux solaires consommée sur place par rapport à l'énergie consommée sur place. Plus il est élevé, plus l'énergie produite est consommée sur place et plus le soutirage est faible.

Indicateur	Référence Poids carbone (teq CO2 / an)	Projet Poids carbone (teq CO2 / an)	Ecart
Chauffage	37	15	-59%
Refroidissement	11	12	9%
ECS	53	42	-21%
Eclairage	17	16	-6%
Ventilation	27	26	-4%
Autres usages électriques	75	67	-11%
TOTAL QUARTIER	183	163	-6%

Tableau 8 : Tableau récapitulatif des impacts carbone énergétiques par poste et comparaison avec la référence

Nous constatons donc que les consommations de chauffage et d'ECS sont significativement plus faibles pour le projet par rapport à la référence. Cela s'explique bien par le mix énergétique du réseau de chauffage urbain considéré jusqu'ici comme étant composé à 70% de renouvelables (géothermie).

Pour le poste de refroidissement, le projet est légèrement plus impactant que la référence. Le réseau de froid urbain apparaît donc comme plus carboné que la solution de PAC air/eau. Pour optimiser ce poste, une boucle d'eau tempérée à l'échelle du quartier pourrait éventuellement permettre de baisser les consommations de refroidissement. Dans l'absolu, ce poste est presque aussi conséquent que le poste de chauffage, cela paraît plutôt cohérent dans un contexte climatique méditerranéen et au vu de la forte présence de typologies de bâtiments élevés et donc très exposés aux apports solaires. Ce poste serait encore plus élevé si les ratios de surface vitrée venaient à être augmentés.

Le poste ECS très conséquent paraît cohérent au vu de la forte présence de logements dans la programmation du quartier.

Cela dit, le poste le plus impactant reste les consommations énergétiques liées aux autres usages. La production d'électricité photovoltaïque et l'optimisation de l'autoconsommation du quartier permet donc justement de réduire le poids de ce poste très conséquent ainsi que les consommations d'éclairage.

Au regard de la phase du projet, les deux leviers les plus impactants sont donc :

- **Le contenu carbone du réseau de chaleur**
- **La diminution des besoins de froid**

4.1.2 | Carbone

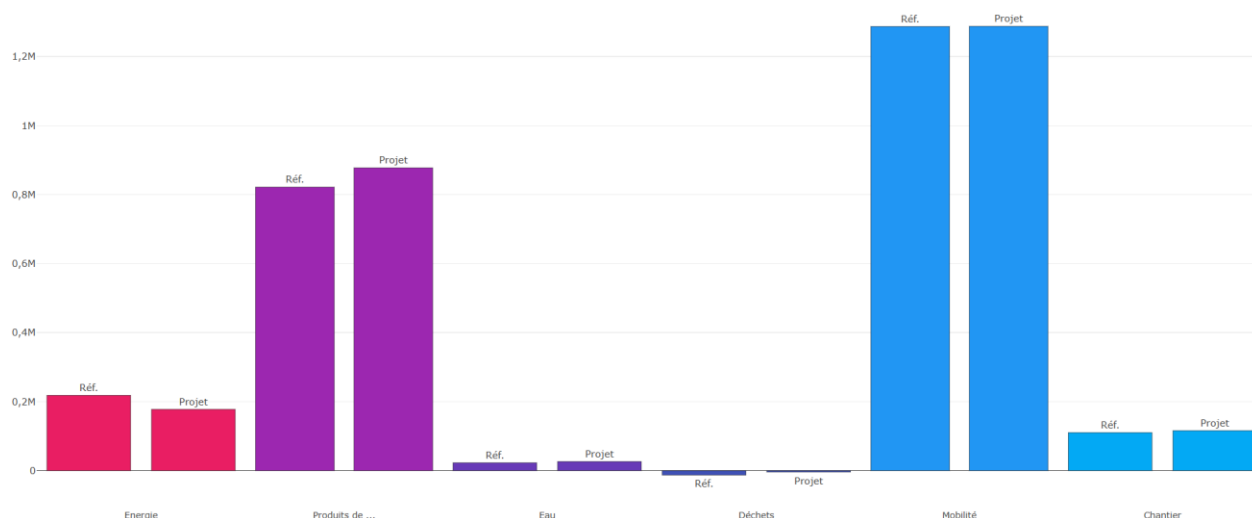


Figure 10 : Impact carbone (kgéqCO₂ / an) de la référence (à gauche) et du projet (à droite) au niveau Quartier pour les principaux postes

Le graphe ci-dessus affiche l'impact carbone global pour les postes suivants (de gauche à droite) :

Consommations énergétiques, Produits de construction, Consommations d'eau, Production de déchets, Mobilité, Phase chantier.

Afin d'avoir une appréciation plus précise de l'impact carbone de chaque poste ci-dessus, un tableau de comparaison des poids carbone pour la référence et le projet est présenté ci-dessous :

Indicateur	Référence Poids carbone (teq CO ₂ / an)	Projet Poids carbone (teq CO ₂ / an)	Ecart
Energie	279	178	-36%
PCE	834	878	5%
Eau	25	28	12%
Déchets	-38	-4	89%
Chantier	123	116	-6%
TOTAL QUARTIER	1223	1196	-6%

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des impacts carbone quartier (ACV dynamique) par poste et comparaison avec la référence

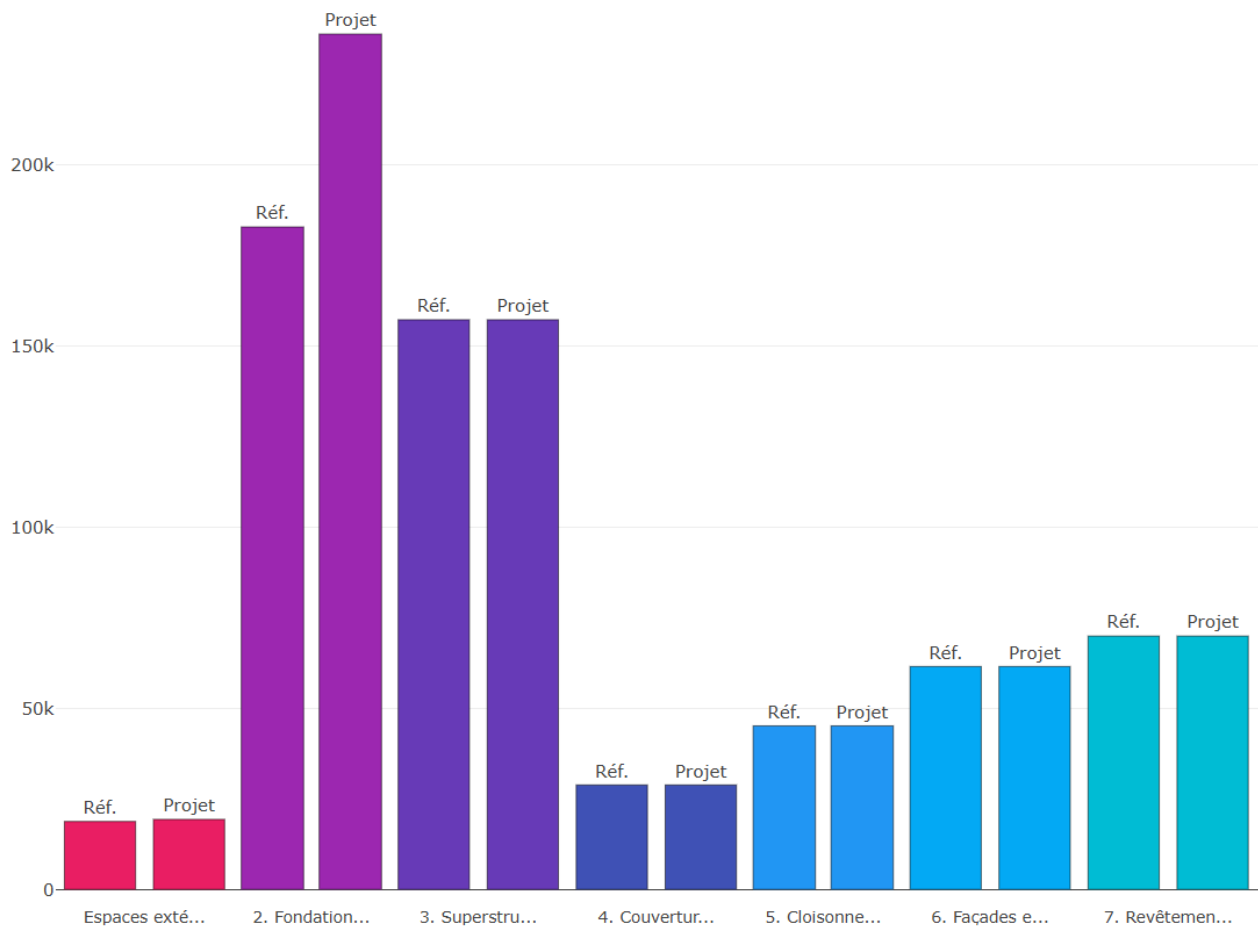


Figure 11 : Impact carbone (kgéqCO₂/an) des produits de construction du quartier ; Référence à gauche et Projet à droite

L'impact carbone des produits de construction est détaillé par lot sur le graphique ci-dessus.

Les lots présentés de gauche à droite sont :

Espaces extérieurs, Fondations et infrastructure, Superstructure – Maçonnerie, Couverture – Étanchéité – Charpente – Zinguerie, Cloisonnement, Façades et menuiseries extérieures, Revêtements intérieurs (sols, murs, plafonds, décoration)

Le poids carbone des lots des installations techniques ne sont pas détaillés dans la figure, ces derniers sont identiques entre le projet et la référence.

A l'inverse du volet Energie, sur le volet **Carbone**, le projet est **moins performant** que la référence. Cela s'explique principalement par le **nombre de places de parking et niveaux en souterrains** construits **très conséquent** sur le projet. On observe d'ailleurs que le lot *Fondations et Infrastructure* est de loin le lot au poids carbone le plus lourd.

Cette analyse a été confirmée par la réalisation d'une variante avec moins de places de parking, le score Carbone est passé en négatif, traduisant ainsi un projet plus performant que la référence.

Du point de vue des produits de construction, le scénario de base considère l'utilisation de matériaux classiques sans biosourcés, ce qui est similaire à la référence. Il pourrait donc être envisageable de compenser le lourd poids carbone des niveaux d'infrastructure par **l'utilisation de matériaux bas carbone (biosourcés, géosourcés, issus de réemploi...)**.

4.1.3 | Autres postes

Déchets

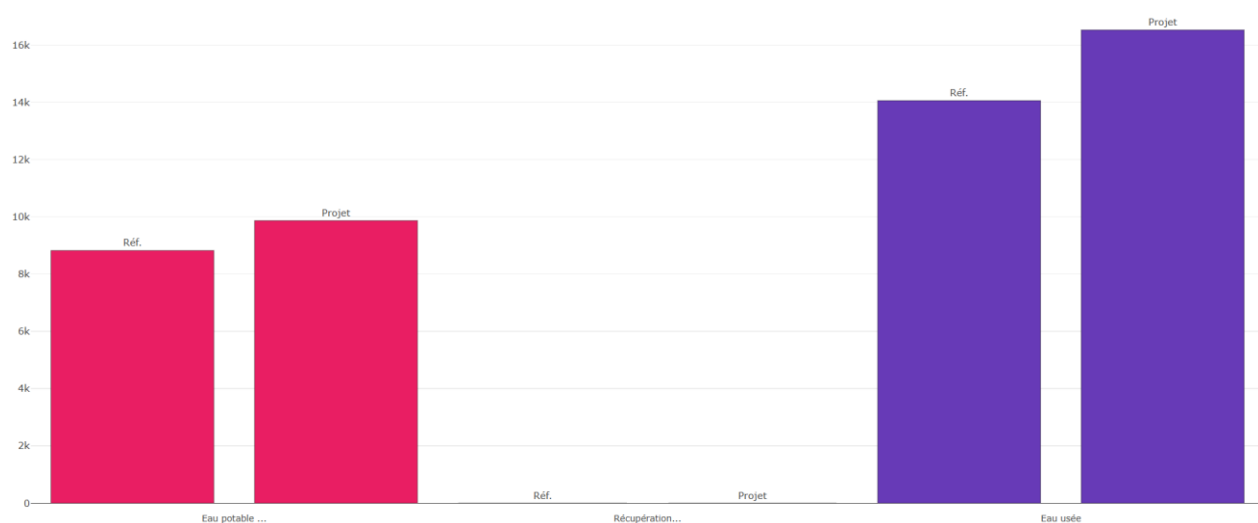
Le projet est moins performant que la référence sur ce sujet. Cela s'explique probablement par le mode de collecte des déchets qui est prévu en moyen pneumatique pour le projet. Cette thématique est encore en cours de discussion au niveau de la municipalité et sera probablement à affiner et rectifier par la suite.

Eau

La différence de traitement des eaux usées est la principale explication de la différence sur ce poste. Cependant, nous nous attendions à obtenir un impact moindre pour le projet, étant donné que le taux de fuite du réseau était inférieur à celui de la référence.

Après avoir échangé avec les éditeurs du logiciel, ce résultat contradictoire vient d'une imperfection dans la prise en compte du calcul du volume d'eau à traiter, lorsqu'il y a moins de perte sur le réseau, le volume d'eau à traiter en centrale de traitement est plus élevé et donc l'impact est plus grand. Ce biais du moteur de calcul désavantage malheureusement les réseaux optimisés aujourd'hui.

A noter que si de la récupération d'eau de pluie pour réutilisation est prévue sur le projet, la consommation des pompes de relevage sera ajoutée et viendra alourdir le bilan global. Le poids global de ce poste étant tout de même assez mesuré en comparaison aux autres, cette augmentation des impacts dûs aux consommations électriques sera à mettre en perspective au regard du gain sur les consommations d'eau. C'est d'ailleurs un indicateur qui est disponible dans le logiciel Urban Print.



Mobilité

Comme mentionné précédemment, le poste mobilité n'est pas modulable dans la simulation du logiciel Urban Print, la référence et le projet ont donc un poids carbone identique pour ce poste.

Il est toutefois intéressant de constater qu'au regard des moyennes nationales, le poste de mobilité est souvent le **poste le plus impactant** parmi les différents services urbains.

Chantier

Le projet est plus performant que la référence sur le sujet du chantier, ce qui vient en partie du fait qu'un **taux élevé de réemploi** (30%) des terres de déblais en terre de remblais a été considéré. Cette ambition forte du projet devra donc se concrétiser dans la conduite du projet afin de conserver le bon résultat obtenu sur ce poste.

Nous avons comparé les volumes de terres d'excavation et de remblais utilisés pour le projet et pour la référence et remarquons qu'ils sont relativement similaires pour l'import :

Référence : export de terres : 159 676 m³ / import : 21 516 m³

Projet : export de terres : 131 818 m³ / import : 22 068 m³

4.1.4 | Bâtiments et espaces extérieurs

Nous pouvons aborder un autre point du Bilan Carbone en distinguant les impacts liés aux bâtiments et ceux liés aux espaces extérieurs.

Il est évidemment essentiel d'optimiser les espaces extérieurs d'un projet urbain, en revanche le graphique ci-dessous nous rappelle que d'un point de vue carbone (uniquement), le poids relatif des bâtiments est beaucoup plus important que celui des espaces extérieurs. Dans le cas de notre projet, il est plus de 8 fois supérieur.

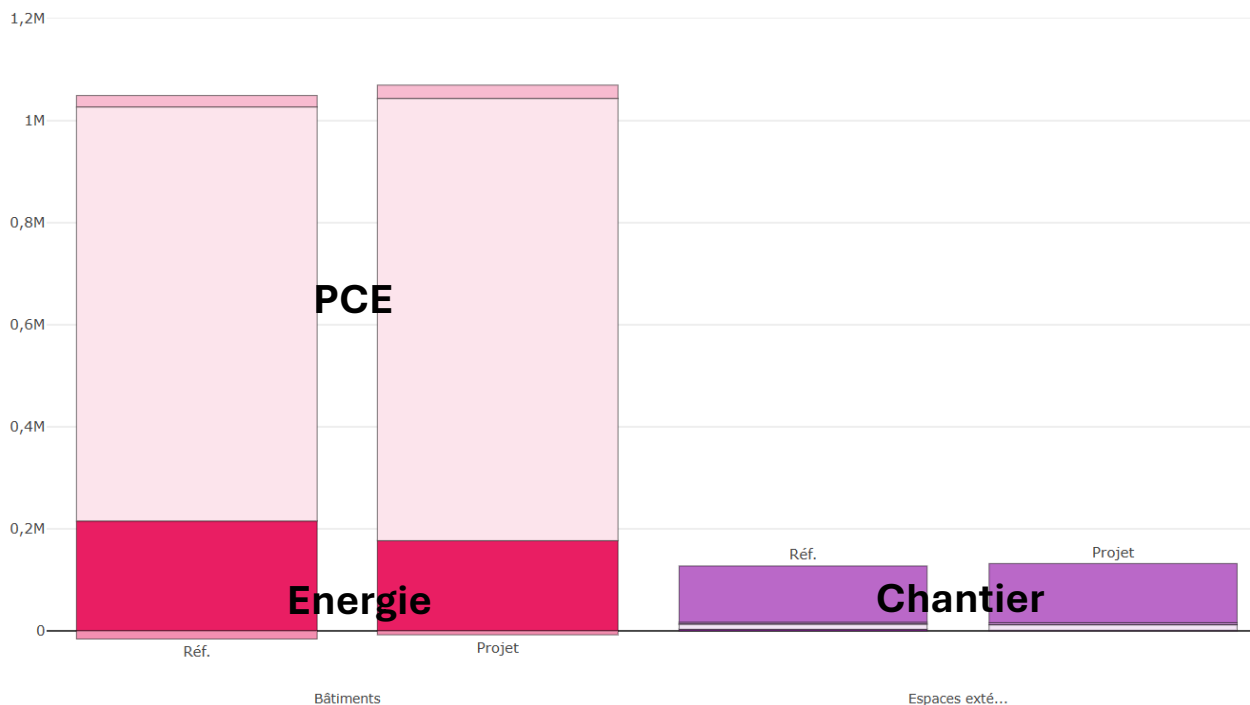


Figure 12 : Impact carbone (kgéqCO₂ / an) des bâtiments (en rose) par rapport aux espaces extérieurs (en violet)

L'impact des bâtiments est prépondérant par rapport à celui des espaces extérieurs, fortement végétalisés.

Le graphique permet de particulièrement bien illustrer les avantages et inconvénients du projet par rapport à la référence sur les bâtiments :

- Le poste des consommations énergétiques est plus performant tant que le réseau de chaleur possède un mix énergétique relativement vertueux
- Le poste des produits de construction est très impactant et pourrait fortement être optimisé

Le poids des espaces extérieurs semble également optimisable car légèrement au-dessus de la référence.

4.2 | Diagramme de Shapley – aide à la décision

L'étude de Shapley permet d'identifier les leviers les plus impactant à mettre en place pour améliorer le Bilan carbone du quartier.

C'est en réalité une étude d'optimisation sous contraintes. Cette étude permet à Urban Print de fournir un diagramme d'aide à la décision.

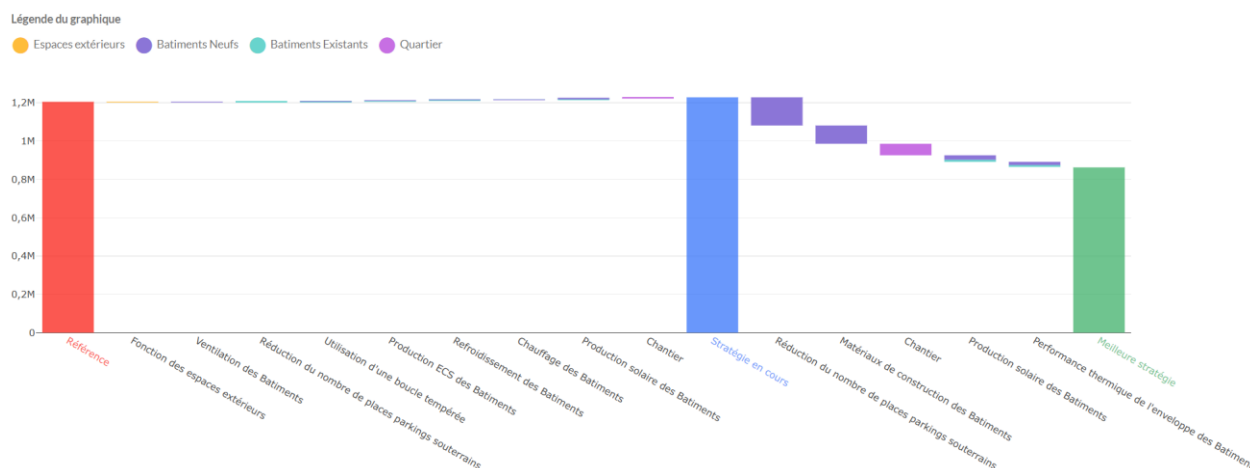


Figure 13 : Diagramme de Shapley du projet avec la référence en rouge, le projet en bleu et la stratégie optimale en vert

On peut tout d'abord constater que les leviers suivants ont déjà été appliqués sur le projet par rapport au scénario de référence :

- Production solaire des bâtiments
- Production ECS et chauffage des bâtiment

Le logiciel identifie cependant la liste de leviers suivantes (ordonnés par importance d'impact), afin de tendre à la stratégie optimale pour le quartier :

- Réduire le nombre de places de parking souterrains
- Décarboner les matériaux de construction
- Améliorer les impacts chantier
- Aller plus loin dans la production solaire des bâtiments
- Pousser la performance thermique de l'enveloppe des bâtiments

4.3 | Empreinte carbone habitant

La sortie à l'habitant proposée par Urban Print est la suivante :

empreinte carbone total d'un habitant du quartier

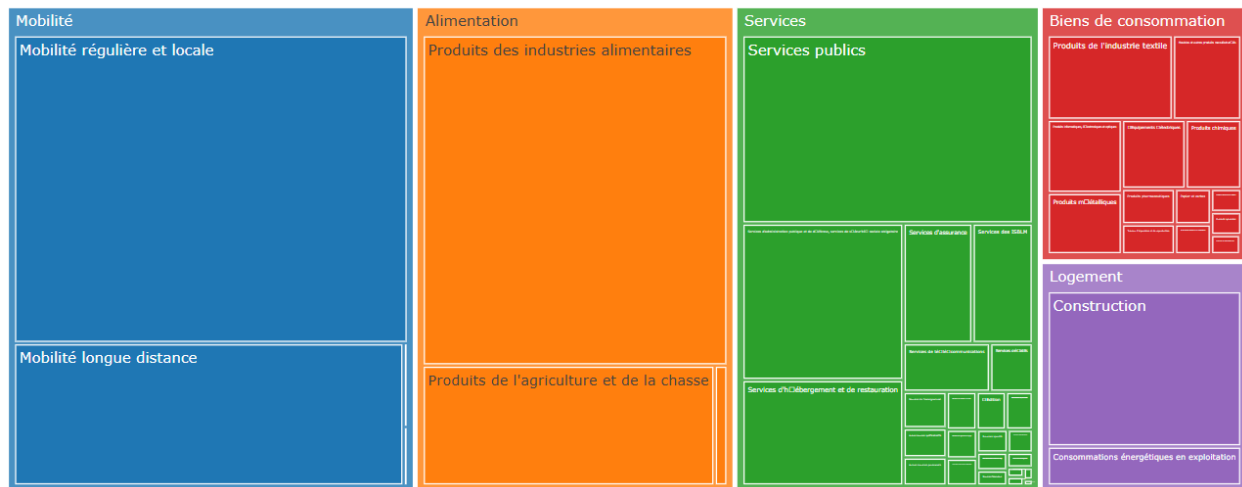


Figure 14 : Influence du quartier sur l'empreinte carbone annuelle d'un habitant du quartier

Cette sortie identifie 3 indicateurs :

- **8 t_{eq}CO₂/an** : L'empreinte carbone annuelle moyenne de l'habitant de référence
- **6,9 t_{eq}CO₂/an** : L'empreinte carbone annuelle moyenne de l'habitant du quartier
- **2033** : L'année d'équivalence du quartier avec la trajectoire SNBC (Stratégie Nationale Bas carbone). L'objectif de cette dernière est de passer d'une émission de 10.5 tCO₂e/an en 2020 à 2 tCO₂e/an en 2050.

La pertinence de cet indicateur est cependant critiquable car une majorité de l'empreinte carbone de l'habitant n'est pas impactée par les paramètres saisis sous Urban Print.

C'est par exemple le cas du volet mobilité qui n'est pas impacté par les paramètres du logiciel. Comptabiliser l'impact des places de parkings et la mise en place de pistes cyclables ou autres dispositifs incitatifs aux mobilités douces pourraient être des pistes d'amélioration du projet urbain mais n'impactent pas le calcul carbone sous Urban Print. Autre exemple, la création d'ateliers de réparation de marchés de produits locaux n'a aucun impact sur les volets 'Alimentation' et 'Biens de consommation'. Ou encore, la création de production agricole dans les espaces extérieurs n'est pas comptabilisée dans le poste produits alimentaires.

L'année d'équivalence donnée par le logiciel est donc assez sous-estimée dans la plupart des cas. Elle peut malgré tout être une indication d'amélioration lors de la comparaison entre deux stratégies.

4.4 | Niveau du label BBCA quartier

Le logiciel Urban Print fournit en sortie les indicateurs relatifs au label BBCA Quartier. Les scores dans les 5 catégories nous permettent de voir si le quartier atteint les seuils requis par le label :

- Niveau IcQ Aménagement : Impact de l'aménagement en intégrant les services urbains et la mobilité
- Niveau IcQ Énergie : Impact de l'énergie pour l'usage des bâtiments
- Niveau IcQ Construction : Impact de l'action physique de construire et aménager
- Niveau IcQ Viabilisation : Impact des postes techniques de l'aménagement de quartier

- Niveau empreinte habitant : c'est l'empreinte carbone moyenne d'un habitant du quartier (assez sous-estimée comme nous l'avons détaillé plus tôt)

L'estimation du nombre d'usagers équivalents (Useq) du quartier est essentielle pour l'évaluation des niveaux BBQA car c'est la valeur qui permet de normaliser le calcul des impacts carbones et restituer des données en **kgCO₂e/an/Useq**. L'usager équivalent permet de rééquilibrer l'impact d'un habitant et d'un employé au sein d'un même quartier en considérant qu'un habitant de logement = 1 Useq tandis qu'un employé de bureaux = 0,83 Useq. Ce raisonnement est appliqué pour les différents usages d'un quartier : établissement sportif = 2 Useq, Commerce = 5,83 Useq, Université = 1,97 Useq, Parking = 0 Useq.

Le projet aboutit à **2 220 Usagers équivalents**.

Deux seuils par indicateur sont fournis. Si le seuil 1 est au moins atteint pour chaque indicateur, alors le quartier pourrait être labélisé BBQA Niveau 1, idem pour le niveau 2.

Les résultats suivants sont obtenus :

Niveau IcQ Aménagement Atteint niveau 1 (Seuil 1 : 1300 Seuil 2 : 1000 kgCO ₂ /Useq.an)	Niveau IcQ Energie Atteint niveau 2 (Seuil 1 : 150 Seuil 2 : 110 kgCO ₂ /Useq.an)	Niveau IcQ Construction Atteint niveau 1 (Seuil 1 : 500 Seuil 2 : 400 kgCO ₂ /Useq.an)	Niveau IcQ Viabilisation Atteint niveau 1 (Seuil 1 : 150 Seuil 2 : 100 kgCO ₂ /Useq.an)
Nombre d'usagers équivalents 2220 Useq	IcQ Aménagement (BBQA) 1118 kgCO ₂ e/an / Useq	IcQ Energie (BBQA) 79,6 kgCO ₂ e/an / Useq	IcQ Construction (BBQA) 446 kgCO ₂ e/an / Useq
	IcQ Viabilisation (BBQA) 117 kgCO ₂ e/an / Useq		

Figure 15 : Résultats des seuils pour le label BBQA Quartier

- **IcQ Aménagement = 1 118 kgCO₂/Useq.an** > **Niveau 1** atteint (1300)
seuil pour atteindre le niveau 2 : 1000
- **IcQ Energie = 79,6 kgCO₂/Useq.an** > **Niveau 2** atteint (seuil niveau 2 = 110)
- **IcQ Construction = 446 kgCO₂/Useq.an** > **Niveau 1** atteint (500)
seuil pour atteindre le niveau 2 : 400
- **IcQ Viabilisation = 117,3 kgCO₂/Useq.an** > **Niveau 1** atteint (150)
seuil pour atteindre le niveau 2 : 100

Le projet atteint **largement le seuil 1** pour l'Aménagement, la Construction, et la Viabilisation. Sans surprise au vu des résultats précédents, le seuil 2 est largement atteint pour le volet Energie.

De plus, le seuil 2 sur l'indicateur Construction semble atteignable avec quelques efforts sur les matériaux de construction.

Le projet pourrait être labellisé **BBQA niveau 1**, mais nécessiterait des optimisations pour atteindre le niveau 2.

5 CONCLUSION ET PROPOSITIONS DE VARIANTES

En conclusion, les résultats du Bilan Carbone nous ont permis d'identifier les points forts du quartier en matière de carbone mais surtout d'identifier les pistes d'amélioration.

Le bilan carbone est un outil d'aide à la conception, c'est pourquoi il est essentiel d'adapter l'analyse des résultats à l'étape du projet, et se concentrer sur les postes qui sont d'une part les plus impactantes pour le Bilan Carbone et qui ont, d'autre part, le plus de probabilité d'être modifiées, adaptées ou précisées par la suite du projet.

Dans l'analyse des résultats, il est tout aussi important de bien avoir en tête les limites du logiciel et ses angles morts, que les hypothèses et approximations sur le projet qui ont dû être appliquées pour la réalisation du Bilan carbone.

Consommations énergétiques

Le point fort du projet se trouve être sur le volet Énergie, avec des consommations globalement faibles à l'échelle du quartier. La performance énergétique du quartier repose principalement sur la mise en place d'un **réseau de chaleur et de froid urbain** avec un mix énergétique favorable aux renouvelables ainsi que sur l'installation de panneaux photovoltaïques sur les toitures des bâtiments en hauteur.

Afin de pouvoir garantir ce bon résultat pour la suite, il sera nécessaire d'être vigilant vis-à-vis de la solution finale de production de chaleur retenue. La mise en œuvre de panneaux photovoltaïque apparaît être une bonne utilisation de l'énergie solaire disponible dans la région et cette surface pourrait encore être accrue si la disponibilité des toitures le permet. Les consommations de refroidissement semblent encore optimisables, ce qui pourrait potentiellement être optimisé avec une boucle d'eau tempérée pour le quartier.

Comme cela a été vu, les niveaux d'isolation suivent plus ou moins la réglementation thermique pour le neuf, il faudra donc prévoir des objectifs ambitieux (voir labels) pour les bâtiments rénovés. Un des paramètres à surveiller qui pourrait avoir une influence sur les consommations énergétiques (de chaud comme de froid et le Ratio de surface vitrée qu'il est important de maîtriser.

Enfin, les besoins de rafraîchissement sont importants et leur réduction via des moyens passifs ou peu consommateurs permettrait un gain carbone intéressant.

Produits de construction et matériaux

Les pistes d'amélioration du projet se situent indéniablement du côté des produits de construction.

Le nombre conséquent de places de parking en souterrain alourdit malheureusement fortement le Bilan Carbone du quartier.

Afin de compenser ce poids important, il pourrait être envisagé d'imposer plus de matériaux biosourcés dans les bâtiments et peut-être étudier des modes de fondation peu carbonés.

Pour coller le plus finement au projet, il conviendrait éventuellement de saisir plus finement les niveaux de parking, ces derniers étant parfois semi-enterrés ou en superstructure à cause des fortes pentes de la parcelle.

Il est toujours important de garder à l'esprit que cette étude se concentre uniquement selon le prisme des émissions de CO₂ du quartier. Autrement dit, une action bénéfique d'un point de vue environnemental selon d'autres indicateurs ne sera pas appréciée à sa juste valeur dans cette étude. Par exemple, la récupération des eaux pluviales pour réutilisation in situ semble être un enjeu important au vu du contexte régional. Cela aura probablement un impact négatif sur les consommations énergétiques et donc le bilan carbone alors même que les bénéfices sur la gestion de l'eau du quartier et la réduction d'îlot de chaleur urbain sont indéniables.

Pour aller plus loin dans l'étude et vérifier la sensibilité du modèle selon certains paramètres, nous proposons les pistes de variantes suivantes qui nous paraissent pertinentes à étudier :

- Intégration de matériaux biosourcés : stratégie moyenne, stratégie ambitieuse
- Variation du ratio de surface vitrée
- Systèmes énergétiques collectifs à l'échelle du bâtiment sans raccordement à un RCU
- Mise en place d'une boucle d'eau tempérée
- Climatisation des logements
- Impact de l'augmentation de la hauteur sous plafond des logements

6 VARIANTES

6.1 | Matériaux de construction

Pour illustrer rapidement l'impact que peuvent avoir la nature des matériaux de constructions, deux scénarios variantes ont été réalisés :

- **Variante 1 / Matériaux mixtes** : tous les bâtiments neufs avec un nombre de niveaux inférieur ou égal à R+6 ont été saisis avec des Matériaux mixtes pour les produits de construction.
- **Variante 2 / Matériaux biosourcés** : en partant de la variante 1 en base, une sélection de bâtiments (Équipement sportif, socle du bâtiment principal et les barrettes rectangulaires en R+2 des îlots de logements) a été saisie avec des Matériaux biosourcés pour les produits de construction.

Le tableau et le graphique ci-dessous représentent l'évolution de l'impact carbone des produits de construction selon les différentes variantes :

	Poids carbone (<i>teq CO₂ / an</i>)	Gain par rapport à la base (%)	Score carbone
Scénario Base	877	-	2
Variante 1	834	-4,9%	-1,5
Variante 2	812	-7,4%	-3,4

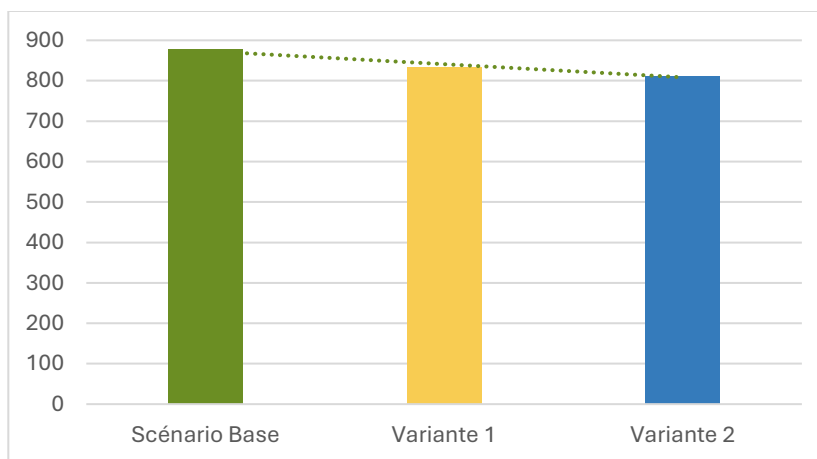


Figure 16 : Impact carbone (kgéqCO₂ / an) des variantes réalisées avec plus ou moins de matériaux biosourcés

Le poids carbone affiché correspond au poids carbone global des produits de construction et équipements du quartier. Le score carbone est tel que défini plus haut, sans tenir compte du poids de la mobilité.

On observe donc qu'en sélectionnant quelques bâtiments de hauteur raisonnable pour y intégrer des matériaux biosourcés dans leur structure, le poids carbone des produits de constructions (poste 4 fois plus important que le poids carbone dû aux consommations énergétiques) peut déjà être réduit de manière significative.

Le graphique ci-dessous illustre le poids carbone par lot de produits de construction selon les 3 variantes étudiées.

A Bilan carbone base **B** Matériaux mixtes **C** Matériaux biosourcés

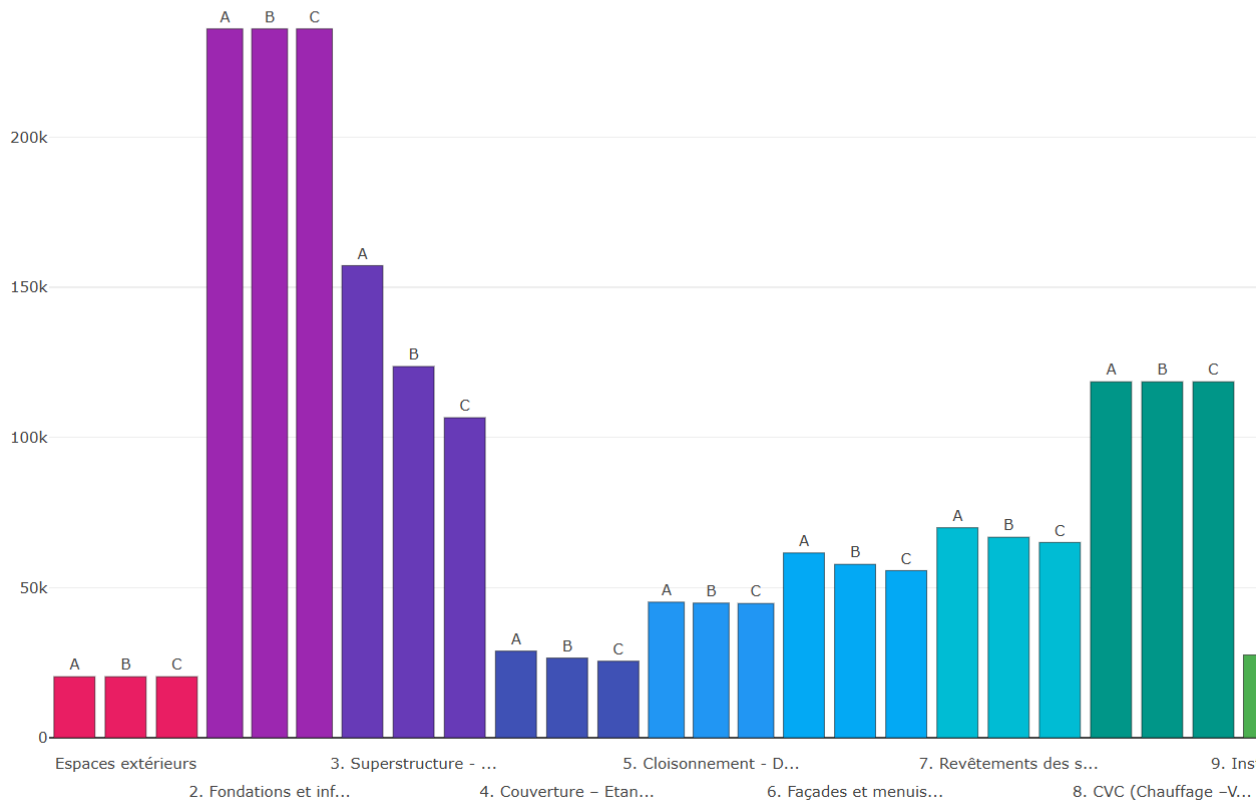


Figure 17 : Comparaison entre les variantes de l'impact carbone (kgéqCO₂/an) des produits de construction selon les différents lots

On observe que le fait d'intégrer des matériaux biosourcés dans les bâtiments impacte significativement le lot *Superstructure – Maçonnerie*, qui est un des lots au poids carbone les plus élevés. Les lots *Façades* et *Revêtements* sont également impactés, moins significativement.

Le fait **d'intégrer le plus de bois dans les matériaux de structure** semble donc être un des leviers les plus efficace pour réduire l'impact carbone des produits de construction des bâtiments.

Une des pistes pour observer un plus gros impact serait de modifier les matériaux pour les bâtiments plus imposants et de grande hauteur (qui participe majoritairement au poids carbone en proportion du quartier) mais ce sont malheureusement les bâtiments avec les réglementations incendies et contraintes structurelles les plus restrictives.