Rapport d'analyse technico-économique de solutions terre cuite

V4 – Juillet 2026

FÉDÉRATION FRANÇAISE
TUILES & BRIQUES

Untec Services

PRÉAMBULE

L'Union nationale des Économistes de la construction est l'unique organisation professionnelle des Economistes de la construction. Syndicat professionnel, l'Untec est administrée par des membres élus et bénévoles.

Constituée en 1972 sous forme de syndicat professionnel (loi de 1884), elle résulte de la réunion des trois organisations antérieures : la Fédération Nationale des Chambres Syndicales des Métreurs-Vérificateurs-Conseil, la Fédération Nationale des Groupement de Vérificateurs-Réviseurs et Contrôleurs de Travaux d'Architectes, l'Association Nationale des Métreurs-Vérificateurs.

En 1990, le Syndicat National Professionnel des Métreurs-Vérificateurs Spécialistes a rejoint l'Untec.

Dans le cadre de ses missions, l'Untec participe à l'analyse de l'évolution des coûts des projets de bâtiment en France.

La Fédération Française des Tuiles et Briques (FFTB) agit pour représenter l'industrie des Tuiles et Briques. Elle est force de proposition pour améliorer son environnement national et européen. Elle informe sur le rôle des produits de construction en terre cuite pour créer des bâtiments pérennes, respectueux de l'environnement et favorisant une croissance durable et responsable. Elle enrichit le dialogue et accompagne les évolutions sociales par la négociation d'accords et d'avenants à la convention collective, en menant des actions sur les qualifications et les métiers de la filière et pour promouvoir les bonnes pratiques. Par délégation de l'INSEE, la FFTB centralise et diffuse les statistiques de la profession. Elle accompagne les entreprises pour clarifier l'application des règles techniques et juridiques.

Objectif

La demande de la FFTB à l'Untec est de réaliser une étude technico-économique de l'intégration des solutions terre cuite sur un projet de référence.

Attentes et livrables

Production d'un rapport d'évolution du projet de référence présentant les impacts économiques et les commentaires sur les évolutions techniques.

C'est l'objet du présent rapport.

SOMMAIRE

	PRÉAMBULE	2
1	MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE	4
2	PRÉSENTATION DU PROJET RÉALISÉ	5
3	LEXIQUE	9
4	ADAPTATION DU MODÈLE DE RÉFÉRENCE	10
5	ADAPTATION DES VARIANTES AUX NOUVELLES DEMANDES DE FÉVRIER 2026	17
6	SIMULATION DES VARIANTES	18
7	RÉSULTATS DES SIMULATIONS	29
8	ANALYSES THÉMATIQUES	35
9	CONCLUSIONS	42
10	SYNTHÈSE	43



1. MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE

Notre méthodologie de travail peut se résumer en trois grandes étapes :

Première étape : Sélectionner le projet de référence

Seconde étape : Faire évoluer le projet de référence sur chacune des solutions techniques

Troisième étape : Identifier les coûts et impacts associés sur chaque évolution.

2. PRÉSENTATION DU PROJET RÉALISÉ

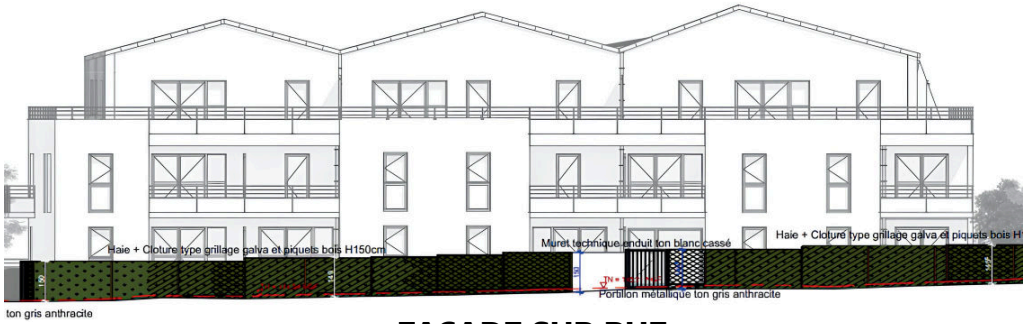
Un immeuble de 31 logements

Le projet est un bâtiment de 31 logements réalisés pour un promoteur privé en Seine-Maritime.
Ce bâtiment est représentatif d'une grande partie des réalisations actuelles mixant compacité, rigueur économique et geste architectural intégrant des solutions biosourcées (charpente bois, notamment).
La superstructure est en maçonnerie de terre cuite.

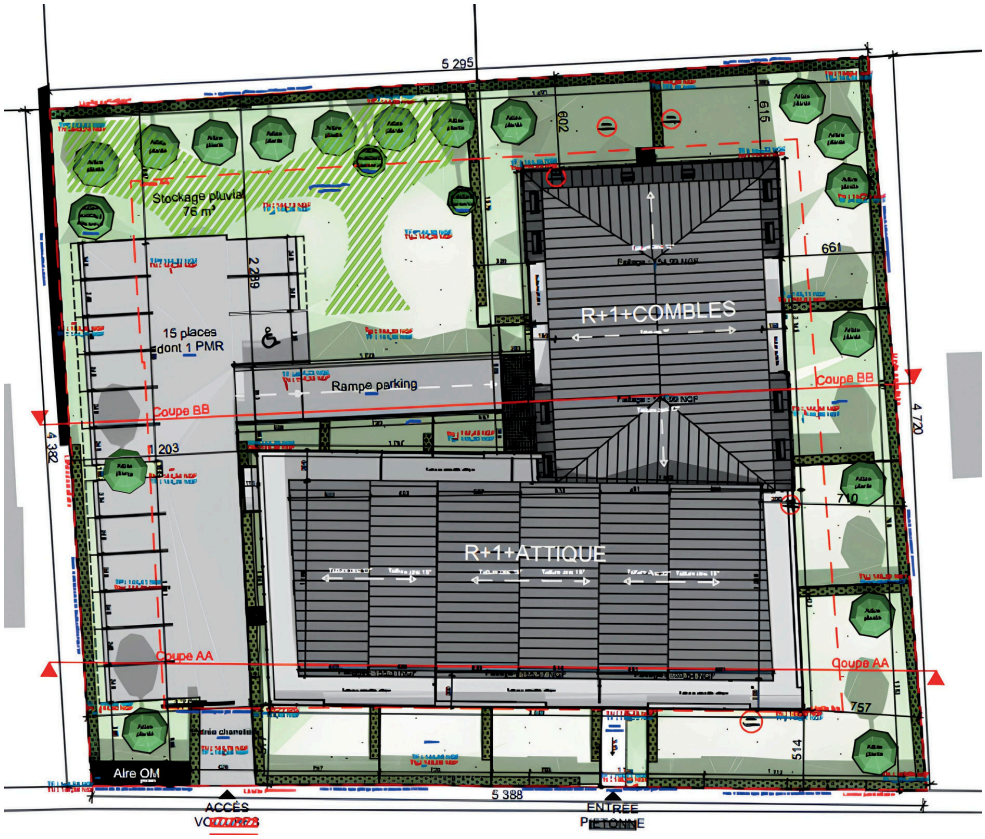
Cette base constructive respecte le seuil 2022 de la RE2020.



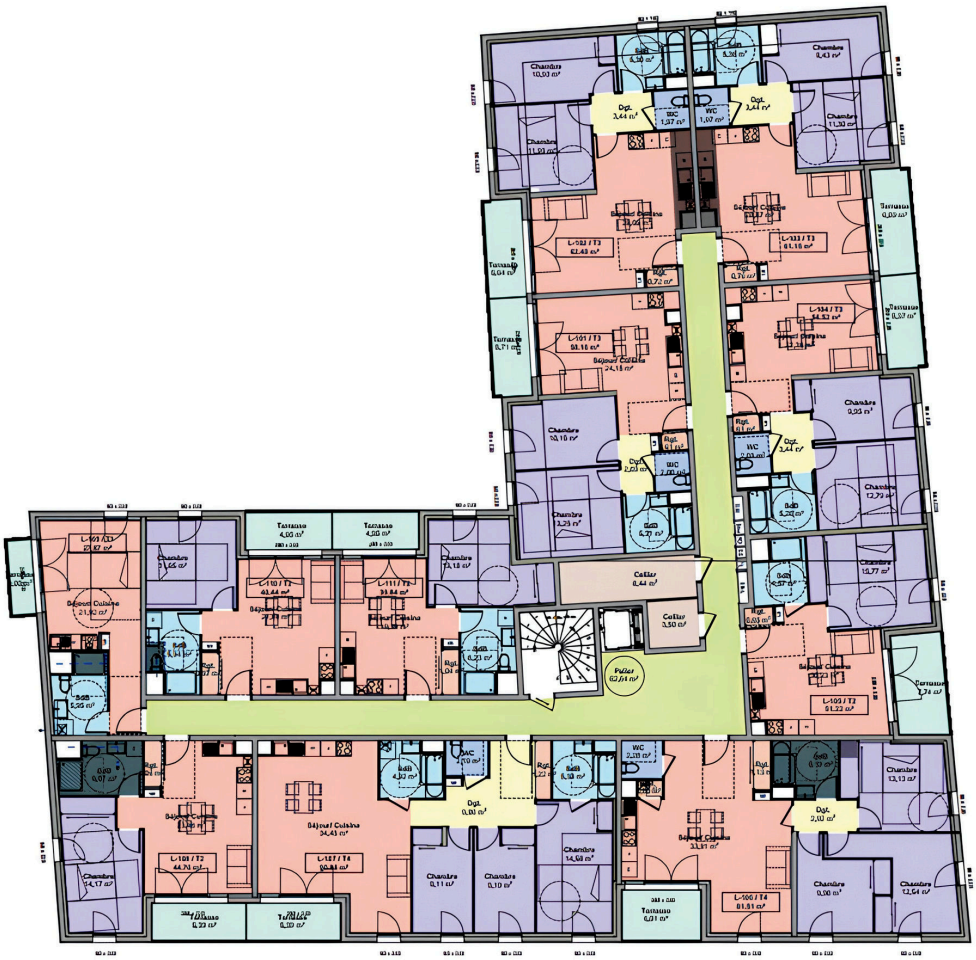
PERSPECTIVE INTÉRIEURE DE LA PARCELLE



FAÇADE SUR RUE



PLAN MASSE



PLAN D'ÉTAGE COURANT

Le projet est ainsi constitué de 31 logements répartis dans une cage d'escalier.

Stationnements en extérieur et en sous-sol.
Les couvertures sont en zinc.

Le projet totalise 1 707 m² de SHAB, en R+1+combles.
Les grandes dates du projet :

- Le projet a été étudié en 2023.
- Les marchés de travaux ont été signés en février 2024.
- Les travaux ont été achevés en avril 2025.

LE MONTANT DES MARCHÉS DE TRAVAUX EST DE 3 598 088 € HT, SOIT UN RATIO DE 2 108 € HT/M² SHAB POUR 31 LOGEMENTS.

C'est un ratio cohérent pour un projet de ce type en Seine-Maritime

Les marchés sont décomposés en 24 lots :

LOT N°02	TERRASSEMENTS - FONDATIONS - GROS-ŒUVRE
LOT N°03	CHARPENTE BOIS - OSSATURE BOIS
LOT N°04	COUVERTURE
LOT N° 05	ÉTANCHÉITÉ DES TERRASSES
LOT N° 06	RAVALEMENT
LOT N° 07	BARDAGE
LOT N° 09	ÉCHAFAUDAGE COMMUN
LOT N° 11	MENUISERIES EXTÉRIEURES PVC
LOT N° 13	SERRURERIE - MÉTALLERIE
LOT N° 14	PORTE DE GARAGE- FERMETURE
LOT N°15	MENUISERIES INTÉRIEURES
LOT N°16	CLOISONS - DOUBLAGES - PLAFONDS - ISOLATION
LOT N°17	CARRELAGE - FAÏENCE
LOT N° 18	PARQUETS
LOT N° 19	REVETEMENT DE SOLS SOUPLES
LOT N° 20	CHAPE
LOT N° 21	PEINTURES - REVÊTEMENTS MURAUX
LOT N° 22/23/24	VMC - PLOMBERIE - CHAUFFAGE
LOT N° 25	ÉLECTRICITÉ COURANT FORT - COURANT FAIBLE
LOT N° 26	ASCENSEUR
LOT N° 27	ESPACES VERTS - CLÔTURES - PORTAIL
LOT N° 28	VRD
LOT N° 29	CUISINES AMÉNAGÉES
LOT N° 30	NETTOYAGE

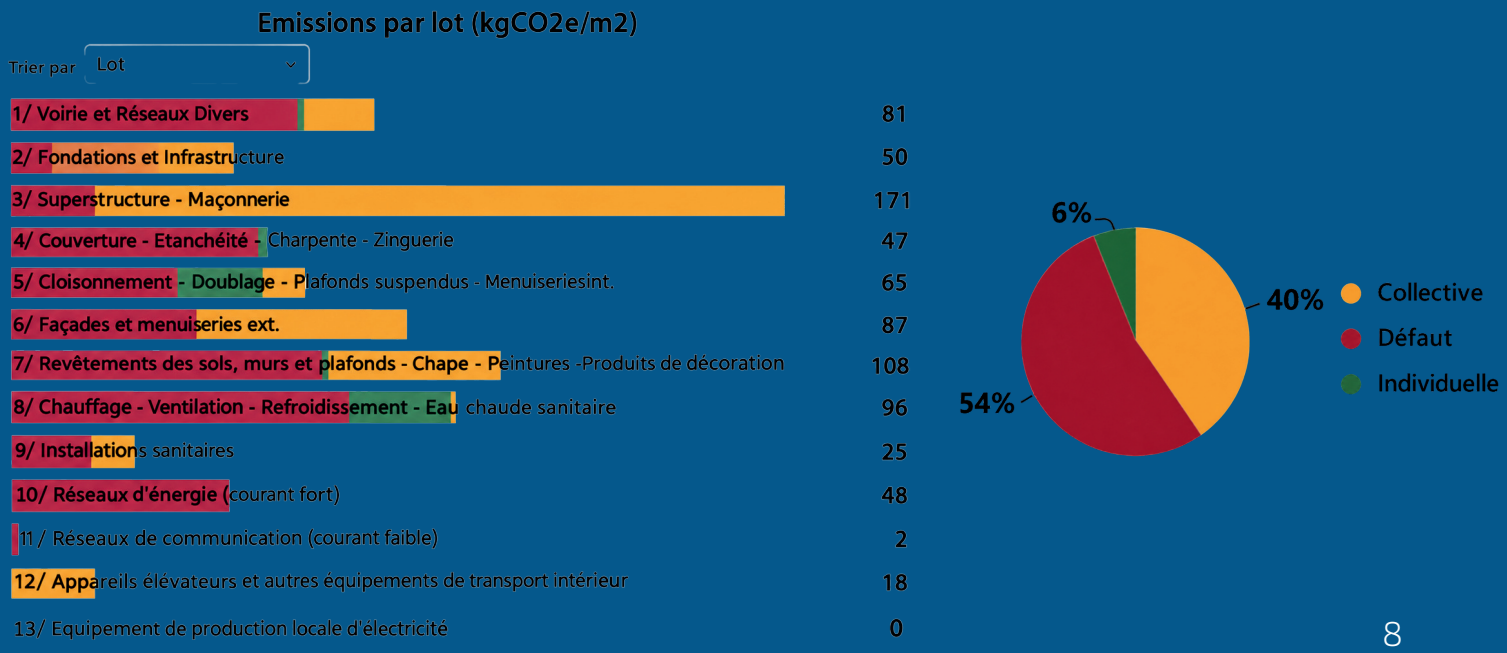
Les principaux choix constructifs sont les suivants :

- Fondations semelles filantes
- Infrastructure en béton armé
- Superstructure en maçonnerie de terre cuite
- Planchers en béton armé
- Enduit en façade avec une partie en bardage zinc
- Étanchéité sur terrasse béton
- Menuiseries extérieures en PVC + volets roulants
- Doublage thermique intérieur en laine de bois
- Cloisons de type PLACOPAN
- Carrelage dans les pièces d'eau
- Parquet stratifié dans les pièces sèches
- Peinture sur murs et plafonds
- Chauffage et ECS via des chaudières gaz individuelles
- Ventilation simple flux hygroréglable de type B
- Installation électrique conforme NF C 15-100
- 1 ascenseur

À la livraison, ce projet présente les résultats RE 2020 suivants :

- Bbio max – 1.50%
- C_{ep}max – 22.10%
- C_{epnr}max -5.40%
- DH de 374.7
- $IC_{énergie}$ de 496 pour un objectif à 598
- $IC_{composant}$ de 798
- $IC_{construction}$ de 838 pour un objectif à 843
- En considérant une valeur d'étanchéité à l'air de 1.00 m3/(h.m²)

À ce stade, la répartition des données de l'$IC_{Construction}$ est la suivante :

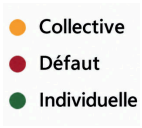


3. LEXIQUE

- Bbio (Besoin bioclimatique) : Indicateur de la RE2020 qui mesure la performance énergétique intrinsèque du bâtiment (isolation, inertie, compacité, orientation, apports solaires), indépendamment des systèmes techniques.
- Cep (Consommation d'énergie primaire) : Consommation d'énergie primaire du bâtiment (chauffage, ECS, ventilation, éclairage, auxiliaires), incluant l'efficacité des équipements.
- Cep,nr (Consommation d'énergie primaire non renouvelable) : Version du Cep limitée aux énergies non renouvelables. C'est un indicateur clé de la RE2020 visant à réduire l'usage des énergies fossiles.
- DH (Degrés-heures d'inconfort estival) : Indicateur RE2020 qui mesure l'inconfort lié aux surchauffes en été, en cumulant les écarts de température intérieure au-delà des seuils admissibles.
- $IC_{Énergie}$: Indicateur carbone lié aux consommations d'énergie du bâtiment en exploitation, sur l'ensemble de son cycle de vie.
- $IC_{Composants}$: Indicateur carbone associé aux produits et équipements utilisés dans le bâtiment (fabrication, transport, fin de vie).
- $IC_{Construction}$: Indicateur carbone global du bâtiment pour la phase construction, combinant $IC_{Composants}$ + émissions liées au chantier.
- Stock C (Stockage de carbone) : Quantité de carbone biogénique stockée dans les matériaux biosourcés. Avec 3 niveaux de performance possibles selon le Label Bâtiment Biosourcé 2024 :

TYPE D'USAGE PRINCIPAL	Quantité de carbone biogénique stocké par unité de surface pour atteindre les niveaux du label « bâtiment biosourcé » (kg de carbone/m2 de surface de référence)		
	1er niveau 2024	2e niveau 2024	3e niveau 2024
Bâtiment d'habitation	15	25	45
Industrie, stockage, service de transport	4	6	9
Autres usages (entendu comme autre que les deux précédentes)	12	20	36

- Fiches FDES : Documents normalisés (INIES) qui donnent les données environnementales des matériaux.



1. FDES collectives : rédigées par une filière ou un syndicat, représentatives d'un groupe de fabricants.
2. FDES par défaut : données génériques pénalisantes, utilisées lorsqu'aucune donnée spécifique n'existe.
3. FDES individuelles : réalisées par un fabricant pour un produit précis, elles sont les plus fiables et les moins pénalisantes en ACV.



4. ADAPTATION DU MODÈLE DE RÉFÉRENCE

À la demande de la FFTB, nous adaptons le modèle réalisé en procédant aux modifications suivantes :

- Remplacer le sous-sol par un vide sanitaire (sans locaux techniques en sous-sol)
- Adapter la toiture pour que les brisis deviennent verticaux comme les façades et que les terrassons soient la seule toiture véritable du projet couverte en zinc
- Actualiser les prix unitaires à la valeur constatée en août 2025 (actualisation sur la base de retours d'appels d'offres de projets situés en Seine-Maritime-76)

À la suite de ces adaptations, nous obtenons le modèle de référence auquel nous comparerons les variantes.

Voici les résultats du projet de référence :

Economie de projet : Investissement en couts travaux

	Cout travaux HT (valeur Aout 2025)	Ratio HT / m² SHAB
Clos-couvert	1 634 881	958
Second-Œuvre	731 499	429
Fluides/Electricité	743 149	435
VRD/Espaces verts		0
Total TCE	**3 109 529**	**1 822**

Nous proposons une analyse économique hors VRD et Espaces verts, cela permet une comparaison des variantes à l'échelle du bâtiment seul.

MODÈLE QUE NOUS PRÉSENTONS ICI SELON LA MÉTHODE UNTEC

PARTIE D'OUVRAGE	COÛT
A11 - Encaissement des ouvrages	27 000 €
A12 - Fondations Théoriques	65 544 €
A13 - Volumes de Transition	162 796 €
A21 - Système porteur	620 673 €
A221 - Ossatures (charpente)	149 398 €
A22211 - Système d'étanchéité	72 726 €
A22213 - Couvertures rampantes en grands éléments	198 175 €
A233 - Ouvertures extérieures	178 178 €
A234 - Protection et fermeture des baies extérieures	40 000 €
A235 - Traitements des parements verticaux extérieurs	95 114 €
A236 - Saillies de façades	13 277 €
A24 - Escaliers et rampes	12 000 €
A311 - Cloisonnements	88 766 €
A312 - Baies Intérieures	132 039 €
A313 - Traitement des parements verticaux intérieurs	122 561 €

PARTIE D'OUVRAGE	COÛT
A31421 - Sols durs	98 530 €
A31422 - Sols souples	6 395 €
A31423 - Parquets	103 707 €
A315 - Plafonds	33 795 €
A321 - Conduits et Gaines	36 462 €
A322 - Plomberie	175 422 €
A323 - Chauffage - Ventilation - Conditionnement - Clim	213 612 €
A324 - Électricité	285 153 €
A325 - Appareils élévateurs	32 500 €
A331 - Peinture - teinture	134 006 €
B1 - Préparation du terrain	0 €
B3 - Réseaux organiques	0 €
B4 - Aménagement de surface	0 €
C2 - Protections particulières	7 700 €
C4 - Ameublements spécifiques	4 000 €

Hors VRD et espaces verts, le cout du projet est de 1 822 € HT/m² ramené en valeur août 2025.

Nous mettons ensuite à jour l'étude thermique RE2020 pour les indicateurs énergétiques, avec le logiciel PLEAIDE + COMFIE de IZUBA :

Thermique :

	Chauffage	ECS	Eclairage	Auxiliaire (dont ventilation, distribution et déplacements)	Rafraichissement	Total	Effort / Réglementation
Bbio en points	57,8	SO	9,5	SO	0,8	68,1	-4,08%
Cep en kWhep/m²	30,5	22,2	4,4	12,4	0,2	69,7	-23,24%
Cepnr en kWhep/m²	30,5	22,2	4,4	12,4	0,2	69,7	-6,69%
DH en °C,h						378	-69,76%

- En RE2020, le projet est performant thermiquement.
- **Pour la suite de l'analyse, nous nous concentrons sur l'Indicateur Bbio qui sera impacté par les variantes constructives.**
- **Quand le Bbio est impacté, cela se traduit par des consommations également modifiées.**
- **L'indicateur Bbio est, par expérience, le plus sensible à optimiser dans un projet.**

Nous mettons ensuite à jour l'analyse du cycle de vie du bâtiment et le bilan carbone de la RE2020 avec le logiciel EMERSUS :

En effectuant les deux modifications suivantes :

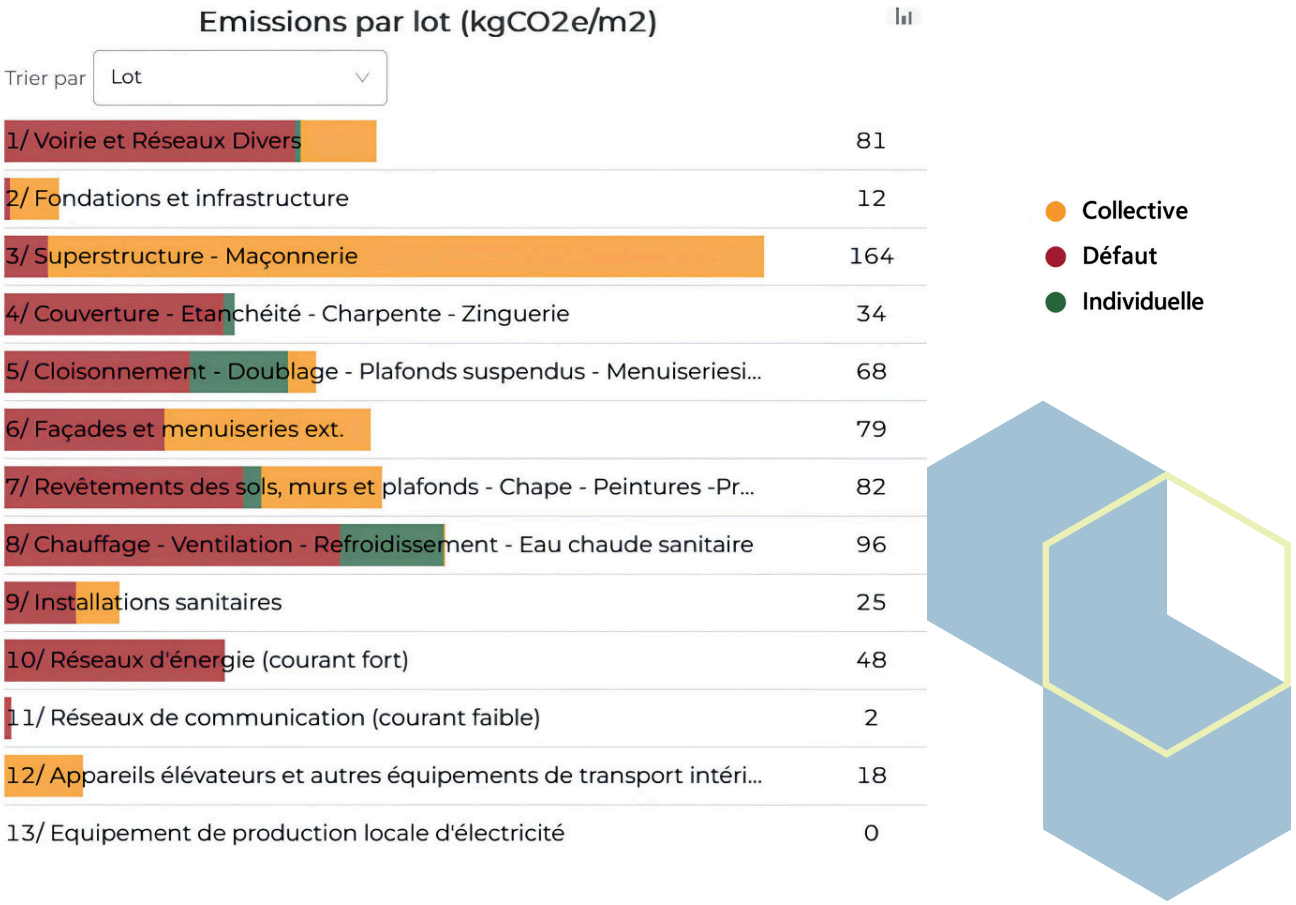
- La FDES des linteaux en terre cuite est remplacée par la FDES collective 34419.
- La FDES des planelles en terre cuite est remplacée par la FDES collective 46650.

Carbone :

	Valeur du Projet	Valeur réglementaire Seuil 2022	Valeur réglementaire Seuil 2025	Valeur réglementaire Seuil 2028	Valeur réglementaire Seuil 2031
IC Energie en kgCO2e/m²	496	598	278	278	278
IC Composants en kgCO2e/m²	708	SO	SO	SO	SO
IC Construction en kgCO2e/m²	748	823	734	665	576
Stock C en kgC/m²	30,1	SO	SO	SO	SO

✓ *Ici l'impact Carbone des VRD et espaces verts est conservé*

Avec une nouvelle répartition des émissions carbone selon chaque lot :



- En RE2020, le projet est conforme au seuil 2022 et pourrait même prétendre **au seuil 2025** uniquement sur l'indicateur IC Construction
- Le projet pourrait également prétendre au **niveau 2 du Label Bâtiment Biosourcé 2024 notamment grâce à la charpente de bois et l'isolation biosourcée**
- L'indicateur IC Énergie évoluera en cas d'évolution des consommations énergétiques et surtout en cas de changement du vecteur énergétique (le test de changement de vecteur énergétique n'est pas l'objet de la présente étude)
- **Pour la suite de l'analyse, nous nous concentrons donc sur l'Indicateur $IC_{Construction}$, car les variantes impactent directement cet indicateur**
- Nous pourrons cependant fournir également en annexe, les impacts de chaque variante sur l'indicateur $IC_{Energie}$.

Enfin, nous simulons le projet de référence en coût global :

COÛT GLOBAL

L'étude en coût global est réalisée avec le logiciel GESTIONA développé par l'UNTEC dans la suite METOD.

L'étude est réalisée sur une période de **50 ans.**
Seuls les postes directement concernés par les choix techniques pour réaliser le bâtiment ainsi que les données de consommations énergétiques sont renseignées.
Les postes relatifs aux frais financiers, aux honoraires de maîtrise d'œuvre et autres dépenses associées ne sont pas influencés par les variantes techniques étudiées ci-après.

Nous proposons une analyse économique hors VRD et Espaces verts, cela permettra une comparaison des variantes à l'échelle du bâtiment seul.

Enfin, le poste fin de vie n'est pas étudié, car le bâtiment reste en usage au-delà de la période d'étude.

Les taux d'inflation/actualisation pris en compte sont les suivants :

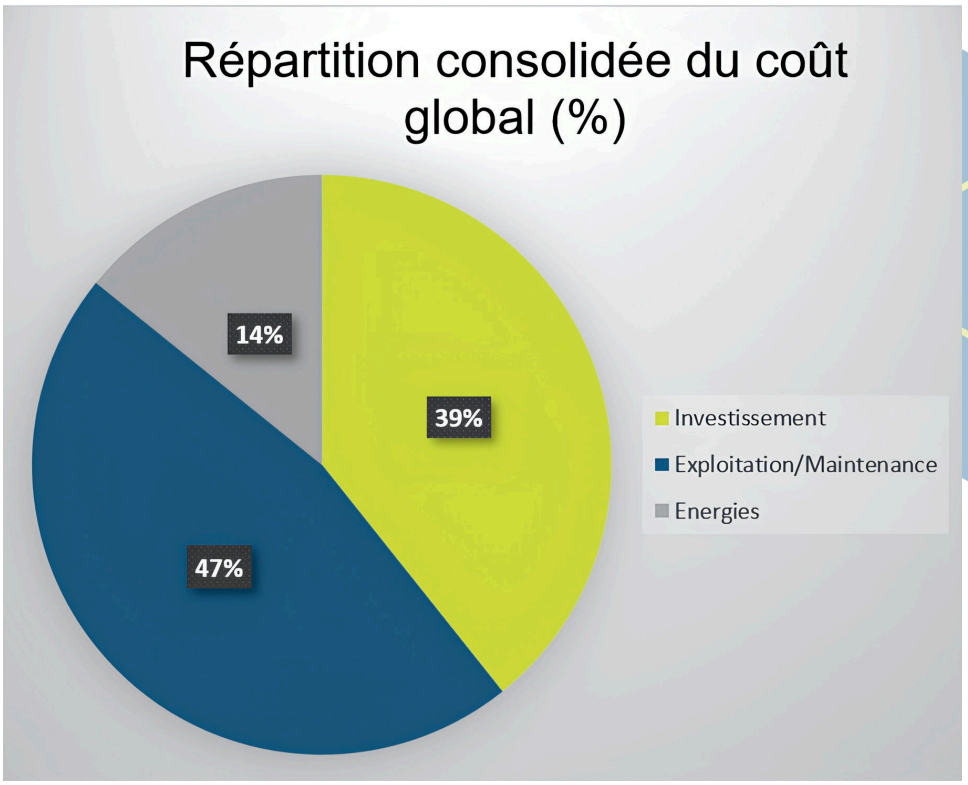
	Général	Énergies	**DURÉE D'ETUDE**
Taux d'inflation (Ti) :	2%	4.1%	50 ANS
Taux d'actualisation (Ta) :	3.2%	3.2%	

Sources :

- L'Insee indique que, hors épisode 2022-2023, l'inflation française tourne autour de 2 % par an depuis le début des années 2000.
- Le Guide de l'évaluation socioéconomique des investissements publics (France Stratégie/DG Trésor - édition 2023) indique lui un taux d'actualisation de 3,2 % réel comme référence officielle actuelle pour l'évaluation socio-économique des investissements publics en France.
- Le Ministère de la transition écologique précise que sur la période 2014-2024, le prix TTC de l'électricité (toutes taxes et options confondues) enregistre une augmentation moyenne annuelle d'environ **+ 4.1 % par an.**

Ainsi le coût global résultant est de :

TOTAL Investissement HT	*TOTAL Energies HT*	*TOTAL Exploitation/Maintenance HT*
Travaux seuls	Selon consommations de la RE2020	Exploitation / Maintenance
3 109 529 €	1 119 969 €	3 668 484 €
Total coût global	**7 897 982 €**	



En coût global, le projet totalise **7 897 982 €** sur 50 ans, soit près de 3 fois l'investissement en travaux.

Pour la réalisation des variantes, seuls les paramètres suivants seront modifiés :

- ✓ Consommations énergétiques théoriques
- ✓ Montant des travaux des lots concernés par les modifications
- ✓ Le coût global étant calculé par le logiciel GESTIONA sur la base de ces deux paramètres, en actualisant les données d'entrée aux nouvelles simulations (V3)



5. ADAPTATION DES VARIANTES AUX NOUVELLES DEMANDES DE FÉVRIER 2026 :

La FFTB a souhaité faire évoluer les simulations réalisées et présentées dans une seconde version du rapport en févier 2026.

Son souhait est de comparer des variantes présentant la même performance thermique, c'est-à-dire une valeur Bbio similaire entre chaque variante.

Pour cela, nous avons réalisé les travaux complémentaires suivants :

- Modifier les simulations thermiques pour que chaque variante présente un Bbio projet compris entre 68 et 70 points, pour une valeur Bbio max de 71 points
- Prendre en compte une étanchéité à l'air du bâti exprimée en Q4 de 0.80

Ces variations constituent le rapport V3

Ces nouvelles simulations sont également assorties d'une révision des données carbone actualisées (en privilégiant toujours les données collectives et par défaut).

Le recalage des données Bbio a pour effet d'avoir des projets dont le Cep est sensiblement équivalent, lissant ainsi les différences de coût global énergétique.

Le présent rapport V4 corrige les résultats des simulations en coût global, en raison de discordances lors des extractions du logiciel Gestiona.

Nous simulons ensuite les variantes définies par le cahier des charges, présentées ici en 7 « Familles » :

6. SIMULATION DES VARIANTES

Nous simulons ensuite les variantes définies par le cahier des charges, présentées ici en 7 « Familles » :

Famille	Nom de la variante	Structure et parement	Toiture
REFERENCE	REF-Projet de référence	Briques de structure de 20 cm + ITI + enduit	Zinc à joint debout
BRIQUES	Briques 1	Briques de structure de 20 cm + ITI + enduit	Charpente bois + liteaux + tuiles
	Briques 2	Briques de structure de 20 cm + ITI + enduit	Charpente bois + platelage + bac acier
	Briques 3	Briques de structure de 20 cm + ITI + enduit	Dalle béton + membrane d'étanchéité
BANCHE	Banché 1	Béton banché de 20cm + ITI + enduit	Charpente bois + liteaux + tuiles
	Banché 2	Béton banché de 20cm + ITI + enduit	Charpente bois + platelage + bac acier
	Banché 3	Béton banché de 20cm + ITI + enduit	Dalle béton + membrane d'étanchéité
BLOC	Bloc 1	Bloc béton de 20cm + ITI + enduit	Charpente bois + liteaux + tuiles
	Bloc 2	Bloc béton de 20cm + ITI + enduit	Charpente bois + platelage + bac acier
	Bloc 3	Bloc béton de 20cm + ITI + enduit	Dalle béton + membrane d'étanchéité
BANCHE + ITE	Banché E1	Béton banché + ITE + plaquettes	Charpente bois + liteaux + tuiles
	Banché E2	Béton banché + ITE + plaquettes	Charpente bois + platelage + bac acier
	Banché E3	Béton banché + ITE + plaquettes	Dalle béton + membrane d'étanchéité
BANCHE + BRIQUES	Banché Briques 1	Mur double : béton banché + ITE + briques apparentes	Charpente bois + liteaux + tuiles
	Banché Briques 2	Mur double : béton banché + ITE + briques apparentes	Charpente bois + platelage + bac acier
	Banché Briques 3	Mur double : béton banché + ITE + briques apparentes	Dalle béton + membrane d'étanchéité
COB	COB Briques 1	Mur double : COB + isolant + briques apparentes	Charpente bois + liteaux + tuiles
	COB Briques 2	Mur double : COB + isolant + briques apparentes	Charpente bois + platelage + bac acier
	COB Briques 3	Mur double : COB + isolant + briques apparentes	Dalle béton + membrane d'étanchéité
CLT	CLT 1	CLT + isolant + bardage tuiles	Charpente bois + liteaux + tuiles
	CLT 2	CLT + isolant + bardage tuiles	Charpente bois + platelage + bac acier
	CLT 3	CLT + isolant + bardage tuiles	Dalle béton + membrane d'étanchéité

Pour chaque variante, voici les hypothèses prises en compte :

Famille	Nom de la variante	Structure verticale	Isolation thermique	Parement extérieur	Support de couverture	Isolation de toiture	Toiture
REFERENCE	**REF-Projet de référence**	**Briques de structure en terre cuite Ep : 20cm / R de 1.01**	**Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 120mm / R de 3.15**	**Enduit monocouche**	**Charpente traditionnelle en bois**	**En rampants en laine de bois Ep : 280mm / R de 7.75**	**Zinc à joint debout sur platelage bois**
BRIQUES	**Briques 1**	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Inchangé / réf sauf la pente qui augmente les quantités	Tuiles terre cuite avec une côte centrale, à double emboîtement. 10/m² sur liteaux et écran de sous-toiture
	Briques 2	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Bacs acier sur platelage bois sans écran de sous-toiture
	Briques 3	Inchangé / réf	Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 145mm / R de 4.00	Inchangé / réf	Dalle béton au dernier niveau + acrotères béton	Mousse de PU en 2 couches Ep : 180mm / R de 8.20	Membrane d'étanchéité bitume + gravillons

Famille	Nom de la variante	Structure verticale	Isolation thermique	Parement extérieur	Support de couverture	Isolation de toiture	Toiture
REFERENCE	**REF-Projet de référence**	**Briques de structure en terre cuite Ep : 20cm / R de 1.01**	**Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 120mm / R de 3.15**	**Enduit monocouche**	**Charpente traditionnelle en bois**	**En rampants en laine de bois Ep : 280mm / R de 7.75**	**Zinc à joint debout sur platelage bois**
BANCHE	**Banché 1**	Voile de béton banché de 20cm + rupteurs de ponts thermiques en plancher intermédiaire (hors balcon) à la place des planelles + Ajouts de rupteurs de ponts thermiques L9 en balcons	Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 180mm / R de 5.00	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Inchangé / réf sauf la pente qui augmente les quantités	Tuiles terre cuite avec une côte centrale, à double emboîtement. 10/m² sur liteaux et écran de sous-toiture

Famille	Nom de la variante	Structure verticale	Isolation thermique	Parement extérieur	Support de couverture	Isolation de toiture	Toiture
REFERENCE	**REF-Projet de référence**	**Briques de structure en terre cuite Ep : 20cm / R de 1.01**	**Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 120mm / R de 3.15**	**Enduit monocouche**	**Charpente traditionnelle en bois**	**En rampants en laine de bois Ep : 280mm / R de 7.75**	**Zinc à joint debout sur platelage bois**
	Banché 2	Voile de béton banché de 20cm + rupteurs de ponts thermiques en plancher intermédiaire (hors balcon) à la place des planelles	Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 180mm / R de 5.00	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Bacs acier sur platelage bois sans écran de sous-toiture
	Banché 3	Voile de béton banché de 20cm + rupteurs de ponts thermiques en plancher intermédiaire (hors balcon) à la	Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 180mm / R de 5.00	Inchangé / réf	Dalle béton au dernier niveau + acrotères béton	Mousse de PU en 2 couches Ep : 180mm / R de 8.20	Membrane d'étanchéité bitume + gravillons

Famille	Nom de la variante	Structure verticale	Isolation thermique	Parement extérieur	Support de couverture	Isolation de toiture	Toiture
REFERENCE	**REF-Projet de référence**	**Briques de structure en terre cuite Ep : 20cm / R de 1.01**	**Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 120mm / R de 3.15**	**Enduit monocouche**	**Charpente traditionnelle en bois**	**En rampants en laine de bois Ep : 280mm / R de 7.75**	**Zinc à joint debout sur platelage bois**
		place des planelles + Ajouts de rupteurs de ponts thermiques L9 en balcons + Ajout d'une chape isolée par 68 mm de TMS - R = 3,15 m².K/W					

Famille	Nom de la variante	Structure verticale	Isolation thermique	Parement extérieur	Support de couverture	Isolation de toiture	Toiture
REFERENCE	**REF-Projet de référence**	**Briques de structure en terre cuite Ep : 20cm / R de 1.01**	**Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 120mm / R de 3.15**	**Enduit monocouche**	**Charpente traditionnelle en bois**	**En rampants en laine de bois Ep : 280mm / R de 7.75**	**Zinc à joint debout sur platelage bois**
BLOC	**Bloc 1**	Parpaing / Agglo de ciment de 20cm	Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 180mm / R de 5.00	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Inchangé / réf sauf la pente qui augmente les quantités	Tuiles terre cuite avec une côte centrale, à double emboîtement. 10/m² sur liteaux et écran de sous-toiture
	Bloc 2	Parpaing / Agglo de ciment de 20cm	Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 180mm / R de 5.00	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Bacs acier sur platelage bois sans écran de sous-toiture
	Bloc 3	Parpaing / Agglo de ciment de 20cm + Ajout d'une chape isolée par 68 mm de TMS - R = 3,15 m².K/W	Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 145mm / R de 4.00	Inchangé / réf	Dalle béton au dernier niveau + acrotères béton	Mousse de PU en 2 couches Ep : 180mm / R de 8.20	Membrane d'étanchéité bitume + gravillons

Famille	Nom de la variante	Structure verticale	Isolation thermique	Parement extérieur	Support de couverture	Isolation de toiture	Toiture
REFERENCE	**REF-Projet de référence**	**Briques de structure en terre cuite** **Ep : 20cm / R de 1.01**	**Doublage thermique intérieure en Laine de bois** **Ep : 120mm / R de 3.15**	**Enduit monocouche**	**Charpente traditionnelle en bois**	**En rampants en laine de bois** **Ep : 280mm / R de 7.75**	**Zinc à joint debout sur platelage bois**
BANCHE + ITE	**Banché E1**	Voile de béton banché de 20cm	*(Finition intérieure par doublage sans isolant pour passage des réseaux)*	**Système d'Isolation Thermique par l'Extérieur (ETICS) sous enduits avec isolant en laine de roche (v.1.2)** Ep 16cm / R de 4.55 + Plaquettes terre cuite Compris retours en tableaux	Inchangé / réf	En rampants en laine de bois Ep : 360mm / R de 9.95 + la pente qui augmente les quantités	Tuiles terre cuite avec une côte centrale, à double emboîtement. 10/m² sur liteaux et écran de sous-toiture
	Banché E2	Voile de béton banché de 20cm	*(Finition intérieure par doublage sans isolant pour passage des réseaux)*	**Système d'Isolation Thermique par l'Extérieur (ETICS) sous enduits avec isolant en laine de roche (v.1.2)**	Inchangé / réf	En rampants en laine de bois Ep : 360mm / R de 9.95	Bacs acier sur platelage bois sans écran de sous-toiture

Famille	Nom de la variante	Structure verticale	Isolation thermique	Parement extérieur	Support de couverture	Isolation de toiture	Toiture
REFERENCE	**REF-Projet de référence**	**Briques de structure en terre cuite** **Ep : 20cm / R de 1.01**	**Doublage thermique intérieure en Laine de bois** **Ep : 120mm / R de 3.15**	**Enduit monocouche**	**Charpente traditionnelle en bois**	**En rampants en laine de bois** **Ep : 280mm / R de 7.75**	**Zinc à joint debout sur platelage bois**
				Ep 16cm / R de 4.55 + Plaquettes terre cuite Compris retours en tableaux			
	Banché E3	Voile de béton banché de 20cm	*(Finition intérieure par doublage sans isolant pour passage des réseaux)*	**Système d'Isolation Thermique par l'Extérieur (ETICS) sous enduits avec isolant en laine de roche (v.1.2)** Ep 16cm / R de 4.55 + Plaquettes terre cuite Compris retours en tableaux	Dalle béton au dernier niveau + acrotères béton	Mousse de PU en 2 couches Ep : 180mm / R de 8.20 + remontée d'isolant sur la hauteur des acrotères	Membrane d'étanchéité bitume + gravillons

Famille	Nom de la variante	Structure verticale	Isolation thermique	Parement extérieur	Support de couverture	Isolation de toiture	Toiture
REFERENCE	**REF-Projet de référence**	**Briques de structure en terre cuite** **Ep : 20cm / R de 1.01**	**Doublage thermique intérieure en Laine de bois** **Ep : 120mm / R de 3.15**	**Enduit monocouche**	**Charpente traditionnelle en bois**	**En rampants en laine de bois** **Ep : 280mm / R de 7.75**	**Zinc à joint debout sur platelage bois**
BANCHE + BRIQUES	***Banché Briques 1***	*Voile de béton banché de 20cm*	*Isolation extérieure en laine de roche chevillée-collée* *Ep : 180mm / R de 5.00* *Compris retours en tableaux* *(Finition intérieure par doublage sans isolant)*	*Double mur en briques de terre cuite de 11cm Nuancier classique* *Compris retours en tableaux*	*Inchangé / réf*	*En rampants en laine de bois* *Ep : 360mm / R de 9.95* *+* *la pente qui augmente les quantités*	*Tuiles terre cuite avec une côte centrale, à double emboîtement. 10/m² sur liteaux et écran de sous-toiture*
	Banché Briques 2	Voile de béton banché de 20cm	Isolation extérieure en laine de roche chevillée-collée Ep : 180mm / R de 5.00 Compris retours en tableaux *(Finition intérieure par doublage sans isolant)*	Double mur en briques de terre cuite de 11cm Nuancier classique Compris retours en tableaux	Inchangé / réf	En rampants en laine de bois Ep : 360mm / R de 9.95	Bacs acier sur platelage bois sans écran de sous-toiture
	Banché Briques 3	Voile de béton banché de 20cm	Isolation extérieure en laine de roche chevillée-collée Ep : 180mm / R de 5.00 Compris retours en tableaux *(Finition intérieure par doublage sans isolant)*	Double mur en briques de terre cuite de 11cm Nuancier classique Compris retours en tableaux	Dalle béton au dernier niveau + acrotères béton	Mousse de PU en 2 couches Ep : 180mm / R de 8.20 + remontée d'isolant sur la hauteur des acrotères	Membrane d'étanchéité bitume + gravillons

Famille	Nom de la variante	Structure verticale	Isolation thermique	Parement extérieur	Support de couverture	Isolation de toiture	Toiture
REFERENCE	REF-Projet de référence	Briques de structure en terre cuite Ep : 20cm / R de 1.01	Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 120mm / R de 3.15	Enduit monocouche	Charpente traditionnelle en bois	En rampants en laine de bois Ep : 280mm / R de 7.75	Zinc à joint debout sur platelage bois
COB	COB Briques 1	Mur ossature bois de 145mm	Isolation intégrée en laine de bois de 145mm + *Finition intérieure par doublage sans isolant* (ossature métallique et plaques de plâtre) Ep totale isolation : 145mm / R de 4	Double mur en briques de terre cuite de 11cm Nuancier classique Compris retours en tableaux	Inchangé / réf	En rampants en laine de bois Ep : 180mm / R de 5.00 + la pente qui augmente les quantités	Tuiles terre cuite avec une côte centrale, à double emboîtement. 10/m² sur liteaux et écran de sous-toiture
	COB Briques 2	Mur ossature bois de 145mm	Isolation intégrée en laine de bois de 145mm + *Finition intérieure par doublage sans isolant* (ossature métallique et plaques de plâtre) Ep totale isolation : 145mm / R de 4	Double mur en briques de terre cuite de 11cm Nuancier classique Compris retours en tableaux	Inchangé / réf	En rampants en laine de bois Ep : 180mm / R de 5.00	Bacs acier sur platelage bois sans écran de sous-toiture
	COB Briques 3	Mur ossature bois de 145mm	Isolation intégrée en laine de bois de 145mm + *Finition intérieure par doublage sans isolant* (ossature métallique et plaques de plâtre) Ep totale isolation : 145mm / R de 4	Double mur en briques de terre cuite de 11cm Nuancier classique Compris retours en tableaux	Dalle béton au dernier niveau + acrotères béton	Mousse de PU en 1 couche Ep : 100mm / R de 4.50	Membrane d'étanchéité bitume + gravillons

Famille	Nom de la variante	Structure verticale	Isolation thermique	Parement extérieur	Support de couverture	Isolation de toiture	Toiture
REFERENCE	REF-Projet de référence	Briques de structure en terre cuite Ep : 20cm / R de 1.01	Doublage thermique intérieure en Laine de bois Ep : 120mm / R de 3.15	Enduit monocouche	Charpente traditionnelle en bois	En rampants en laine de bois Ep : 280mm / R de 7.75	Zinc à joint debout sur platelage bois
CLT	CLT 1	Murs en panneaux CLT de 200mm	Isolation extérieure en laine de bois chevillée Ep : 100mm / R de 2.63 Compris retours en tableaux *(Finition intérieure par doublage sans isolant)*	Bardage ventilé en tuiles de terre cuite a emboitements fixés sur tasseaux bois avec interposition d'une pare-pluie Nuancier classique Retours en tableaux-voussures par tôle alu laquée	Inchangé / réf	Inchangé / réf sauf la pente qui augmente les quantités	Tuiles terre cuite avec une côte centrale, à double emboîtement. 10/m² sur liteaux et écran de sous-toiture
	CLT 2	Murs en panneaux CLT de 200mm	Isolation extérieure en laine de bois chevillée Ep : 100mm / R de 2.63 Compris retours en tableaux *(Finition intérieure par doublage sans isolant)*	Bardage ventilé en tuiles de terre cuite a emboitements fixés sur tasseaux bois avec interposition d'une pare-pluie Nuancier classique Retours en tableaux-voussures par tôle alu laquée	Inchangé / réf	Inchangé / réf	Bacs acier sur platelage bois sans écran de sous-toiture
	CLT 3	Murs en panneaux CLT de 200mm	Isolation extérieure en laine de bois chevillée Ep : 140mm / R de 3.65 Compris retours en tableaux *(Finition intérieure par doublage sans isolant)*	Bardage ventilé en tuiles de terre cuite a emboitements fixés sur tasseaux bois avec interposition d'une pare-pluie Nuancier classique Retours en tableaux-voussures par tôle alu laquée	Dalle mixte bois/béton au dernier niveau + acrotères béton	Mousse de PU en 1 couche Ep : 100mm / R de 4.50	Membrane d'étanchéité bitume + gravillons

7. RÉSULTATS DES SIMULATIONS

Nous réalisons donc les simulations thermiques, carbone et économiques pour chaque famille et chaque variante.
Les résultats sont présentés ici en comparaison avec le modèle de référence. (le projet réalisé et adapté).

Code couleur

- En carbone, des écarts inférieurs à 5% sont considérés comme mineurs, car ils peuvent être compensés lors de la conception puis la réalisation du projet (avec plus de précision dans les données FDES) pour mémoire les FDES utilisées sont des données collectives ou par défaut.

- En Investissement, des écarts inférieurs à 3% sont considérés comme mineurs, car ils peuvent être compensés lors de la conception du projet.

- En coût global, il n'y a pas d'application de code couleur.

Les résultat des simulations sont exprimés ci-dessous pour chaque thématique et par famille :

Familles	Nom de la variante	Thermique du bâtiment (Bbio)			Bilan Carbone			Economie de projet (Investissement travaux TCE)			Economie de projet (Coût Global)	
		Modifications	Résultat Bbio projet	Impact Bbio / Bbio max	Résultat IC Construction	Impact / IC Construction initial	Respect du seuil	Modifications	Modifications du montant de travaux (Bâtiment seul)	Impact économique / budget initial	Modifications du montant de coût golbal (batiment seul)	Impact économique / cout global initial
	REF-Projet de référence		69,1	-2,68%	748,00	0,00%	2022 avec possibilité d'optimisation à 2025	Zinc à joint debout sur platelage bois	3 109 529 €		7 897 982	
BRIQUES	Briques 1	aucune	68,7	-3,24%	746,68	-0,18%	2022 avec possibilité d'optimisation à 2025	Tuiles terre cuite sur liteaux	3 129 847,75 €	0,65%	7 938 719	0,52%
	Briques 2	aucune	68,7	-3,24%	746,76	-0,17%	2022 avec possibilité d'optimisation à 2025	Bacs acier sur platelage bois	3 100 292,33 €	-0,30%	7 876 859	-0,27%
	Briques 3	Adaptation au passage en toiture-terrasse	70,5	-0,70%	786,70	5,17%	2022	Membrane d'étanchéité bitume + gravillons sur dalle béton et isolation PU	3 058 949,93 €	-1,63%	7 899 635	0,02%

Familles	Nom de la variante	Thermique du bâtiment (Bbio)			Bilan Carbone			Economie de projet (Investissement travaux TCE)			Economie de projet (Coût Global)	
		Modifications	Résultat Bbio projet	Impact Bbio / Bbio max	Résultat IC Construction	Impact / IC Construction initial	Respect du seuil	Modifications	Modifications du montant de travaux (Bâtiment seul)	Impact économique / budget initial	Modifications du montant de coût golbal (batiment seul)	Impact économique / cout global initial
	REF-Projet de référence		69,1	-2,68%	748,00	0,00%	2022 avec possibilité d'optimisation à 2025	Zinc à joint debout sur platelage bois	3 109 529 €		7 897 982	
BANCHE	Banché 1	Modification des parois, ajouts de rupteurs thermique en about de planchers	68,9	-2,96%	774,55	3,55%	2022	Voile BA / Rupteurs thermiques / Tuiles terres cuite sur liteaux	3 191 900,95 €	2,65%	8 007 262	1,38%
	Banché 2	Modification des parois, ajouts de rupteurs thermique en about de planchers	68,9	-2,96%	771,68	3,17%	2022	Voile BA / Rupteurs thermiques / Bacs aciers sur platelage bois	3 157 174,43 €	1,53%	7 943 347	0,57%
	Banché 3	Modification des parois, ajouts de rupteurs thermique en about de planchers + modification toiture-terasse	68,9	-2,96%	820,10	9,64%	risque de non-conformité	Voile BA / Rupteurs thermiques / Membrane d'étanchéité bitume + gravillons sur dalle béton et isolation PU	3 136 516,43 €	0,87%	7 952 240	0,69%

Familles	Nom de la variante	Thermique du bâtiment (Bbio)			Bilan Carbone			Economie de projet (Investissement travaux TCE)			Economie de projet (Coût Global)	
		Modifications	Résultat Bbio projet	Impact Bbio / Bbio max	Résultat IC Construction	Impact / IC Construction initial	Respect du seuil	Modifications	Modifications du montant de travaux (Bâtiment seul)	Impact économique / budget initial	Modifications du montant de coût golbal (batiment seul)	Impact économique / cout global initial
	REF-Projet de référence		**69,1**	-2,68%	**748,00**	0,00%	2022 avec possibilité d'optimisation à 2025	**Zinc à joint debout sur platelage bois**	**3 109 529 €**		**7 897 982**	
BLOC	**Bloc 1**	Modification des parois, ajouts de planelles isolées en about de planchers	70,1	-1,27%	744,56	-0,46%	2022 avec possibilité d'optimisation à 2025	Maçonnerie de ciment / Planelles isolées / Tuiles terres cuite sur liteaux	3 124 676,65 €	0,49%	7 957 622	0,76%
	Bloc 2	Modification des parois, ajouts de planelles isolées en about de planchers	70,1	-1,27%	744,64	-0,45%	2022 avec possibilité d'optimisation à 2025	Maçonnerie de ciment / Planelles isolées / Bacs aciers sur platelage bois	3 095 121,23 €	-0,46%	7 896 119	-0,02%
	Bloc 3	Modification des parois, ajouts de planelles isolées en about de planchers + modification toiture-terasse	70,7	-0,42%	790,11	5,63%	2022	Maçonnerie de ciment / Planelles isolées / Membrane d'étanchéité bitume + gravillons sur dalle béton et isolation PU	3 069 292,13 €	-1,29%	7 910 338	0,16%

Familles	Nom de la variante	Thermique du bâtiment (Bbio)			Bilan Carbone			Economie de projet (Investissement travaux TCE)			Economie de projet (Coût Global)	
		Modifications	Résultat Bbio projet	Impact Bbio / Bbio max	Résultat IC Construction	Impact / IC Construction initial	Respect du seuil	Modifications	Modifications du montant de travaux (Bâtiment seul)	Impact économique / budget initial	Modifications du montant de coût golbal (batiment seul)	Impact économique / cout global initial
	REF-Projet de référence		**69,1**	-2,68%	**748,00**	0,00%	2022 avec possibilité d'optimisation à 2025	**Zinc à joint debout sur platelage bois**	**3 109 529 €**		**7 897 982**	
BANCHE+ITE	**Banché E1**	Modification des parois, modification de l'ensemble des ponts thermiques en conséquence du passage ITE et béton	70,1	-1,27%	799,17	6,84%	risque de non-conformité	Voile BA / Tuiles terres cuite sur liteaux ETICS laine de roche + plaquettes de terre cuite	3 359 663,43 €	8,04%	8 522 179	7,90%
	Banché E2	Modification des parois, modification de l'ensemble des ponts thermiques en conséquence du passage ITE et béton	70,1	-1,27%	799,26	6,85%	risque de non-conformité	Voile BA / Tuiles terres cuite sur liteaux ETICS laine de roche + plaquettes de terre cuite	3 330 108,01 €	7,09%	8 437 637	6,83%
	Banché E3	Modification des parois, modification de l'ensemble des ponts thermiques en conséquence du passage ITE et béton + modification toiture-terasse	70,2	-1,13%	842,34	12,61%	risque de non-conformité	Voile BA / Tuiles terres cuite sur liteaux ETICS laine de roche + plaquettes de terre cuite	3 288 765,61 €	5,76%	8 447 343	6,96%

Familles	Nom de la variante	Thermique du bâtiment (Bbio)			Bilan Carbone			Economie de projet (Investissement travaux TCE)			Economie de projet (Coût Global)	
		Modifications	Résultat Bbio projet	Impact Bbio / Bbio max	Résultat IC Construction	Impact / IC Construction initial	Respect du seuil	Modifications	Modifications du montant de travaux (Bâtiment seul)	Impact économique / budget initial	Modifications du montant de coût golbal (batiment seul)	Impact économique / cout global initial
	REF-Projet de référence		**69,1**	-2,68%	**748,00**	0,00%	2022 avec possibilité d'optimisation à 2025	**Zinc à joint debout sur platelage bois**	**3 109 529 €**		**7 897 982**	
BANCHE + BRIQUES	**Banché Briques 1**	Modification des parois, modification de l'ensemble des ponts thermiques en conséquence du passage ITE et béton	70,2	-1,13%	819,46	9,55%	risque de non-conformité	Voile BA / Tuiles terres cuite sur liteaux ITE Laine de roche / Double mur en briques de terre cuite de 11cm	3 491 852,18 €	12,30%	8 892 307	12,59%
	Banché Briques 2	Modification des parois, modification de l'ensemble des ponts thermiques en conséquence du passage ITE et béton	70,2	-1,13%	819,55	9,56%	risque de non-conformité	Voile BA / Bacs aciers sur platelage bois ITE Laine de roche / Double mur en briques de terre cuite de 11cm	3 462 296,76 €	11,34%	8 835 067	11,86%
	Banché Briques 3	Modification des parois, modification de l'ensemble des ponts thermiques en conséquence du passage ITE et béton + modification toiture-terasse	69,8	-1,69%	862,63	15,32%	risque de non-conformité	Voile BA / Membrane d'étanchéité bitume + gravillons sur dalle béton et isolation PU ITE Laine de roche / Double mur en briques de terre cuite de 11cm	3 407 759,98 €	9,59%	8 809 165	11,54%

Familles	Nom de la variante	Thermique du bâtiment (Bbio)			Bilan Carbone			Economie de projet (Investissement travaux TCE)			Economie de projet (Coût Global)	
		Modifications	Résultat Bbio projet	Impact Bbio / Bbio max	Résultat IC Construction	Impact / IC Construction initial	Respect du seuil	Modifications	Modifications du montant de travaux (Bâtiment seul)	Impact économique / budget initial	Modifications du montant de coût golbal (batiment seul)	Impact économique / cout global initial
	REF-Projet de référence		69,1	-2,68%	748,00	0,00%	2022 avec possibilité d'optimisation à 2025	Zinc à joint debout sur platelage bois	3 109 529 €		7 897 982	
COB	COB Briques 1	Modification des parois, modification de l'ensemble des ponts thermiques en conséquence	69,5	-2,11%	775,49	3,67%	2022	Mur ossature bois de 145mm / Tuiles terres cuite sur liteaux Isolation intégrée en laine de bois de 145mm + Doublage thermique en laine de bois de 45mm Double mur en briques de terre cuite de 11cm Double mur en briques de terre cuite de 11cm Nuancier classique	3 450 775,06 €	10,97%	8 748 191	10,76%
	COB Briques 2	Modification des parois, modification de l'ensemble des ponts thermiques en conséquence	69,5	-2,11%	775,57	3,69%	2022	Mur ossature bois de 145mm / Bacs aciers sur platelage bois Isolation intégrée en laine de bois de 145mm + Doublage thermique en laine de bois de 45mm Double mur en briques de terre cuite de 11cm Double mur en briques de terre cuite de 11cm Nuancier classique	3 421 219,64 €	10,02%	8 685 468	9,97%
	COB Briques 3	Modification des parois, modification de l'ensemble des ponts thermiques en conséquence + modification toiture-terasse	69,7	-1,83%	799,79	6,92%	risque de non-conformité	Mur ossature bois de 145mm / Membrane d'étanchéité bitume + gravillons sur dalle béton et isolation PU Isolation intégrée en laine de bois de 145mm + Doublage thermique en laine de bois de 45mm Double mur en briques de terre cuite de 11cm Double mur en briques de terre cuite de 11cm Nuancier classique	3 379 877,24 €	8,69%	8 688 244	10,01%



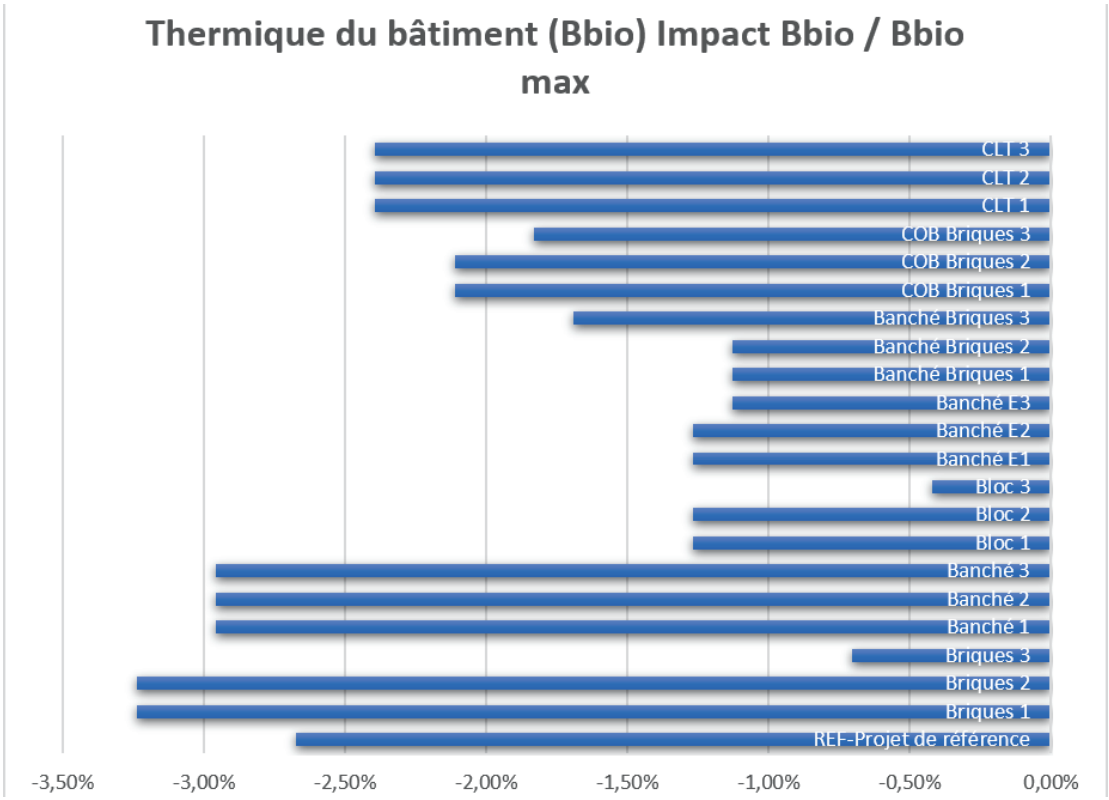
8. ANALYSES THÉMATIQUES

Les résultats des simulations sont exprimés ci-dessous pour chaque thématique.

Chaque variante est toujours comparée avec le projet de référence.

Thermique

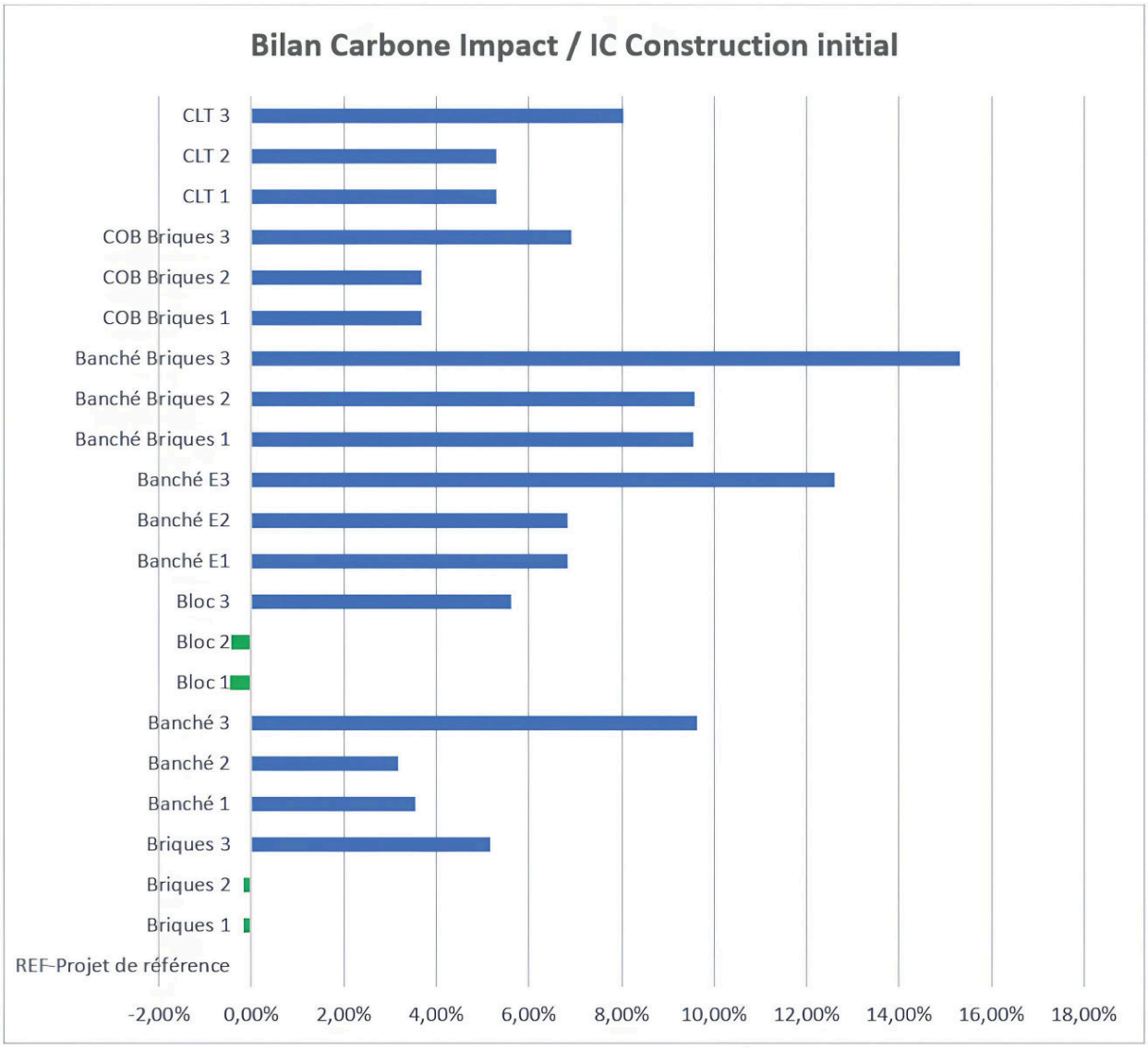
Nous comparons ici le gain sur le Bbio du projet de référence, impacté par les variantes sur l'enveloppe thermique du bâtiment.



Pour rappel : dans cette quatrième version de l'étude, toutes les variantes ont été simulées sur la base d'un Bbio relativement proche.

Carbone

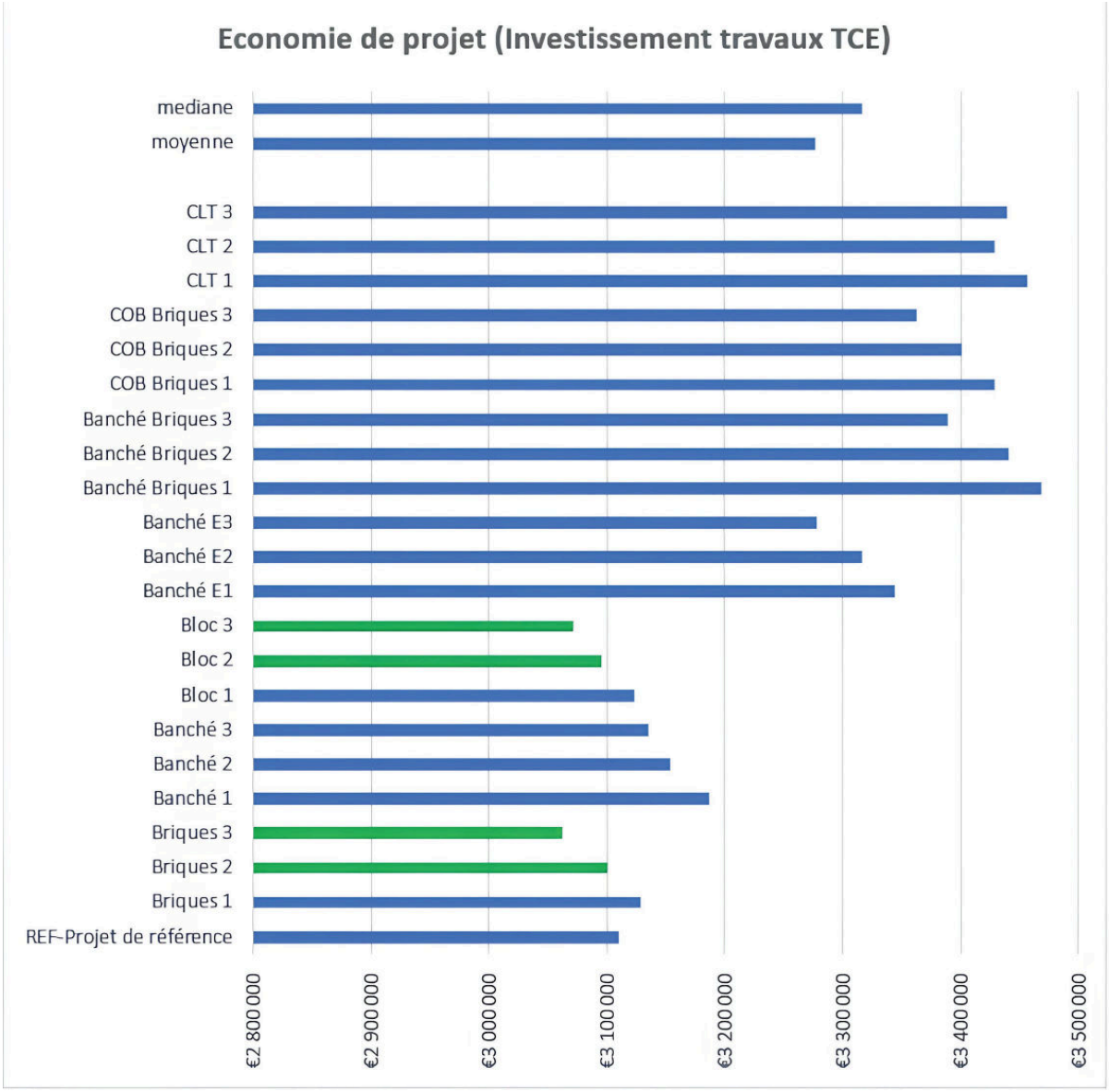
Nous comparons ici le gain sur le bilan carbone $IC_{Construction}$ du projet de référence, impacté par les variantes du bâtiment.



- Certaines simulations optimisent (un peu) l'indicateur $IC_{Construction}$ et permettent ainsi de franchir le seuil 2025 de la RE2020 (en prenant en compte des données carbone conservateur). Elles sont identifiées en VERT.
- C'est le cas notamment des solutions briques 1 et 2 puis Bloc 1 et 2
- Pour les solutions en COB, l'ajout du double mur en briques en façade pénalise le bilan carbone global.
- Pour les solutions CLT, c'est la donnée carbone du CLT puis du plancher mixte bois-béton associé au bardage en tuiles terre cuite, qui pénalise le résultat.
- **À ce stade, nous considérons une marge d'optimisation du bilan carbone de l'ordre de 5% ; ainsi, les solutions augmentant le bilan carbone de 5% pourront être optimisées en travaillant sur les autres lots et sur les données environnementales qui évoluent chaque jour.**

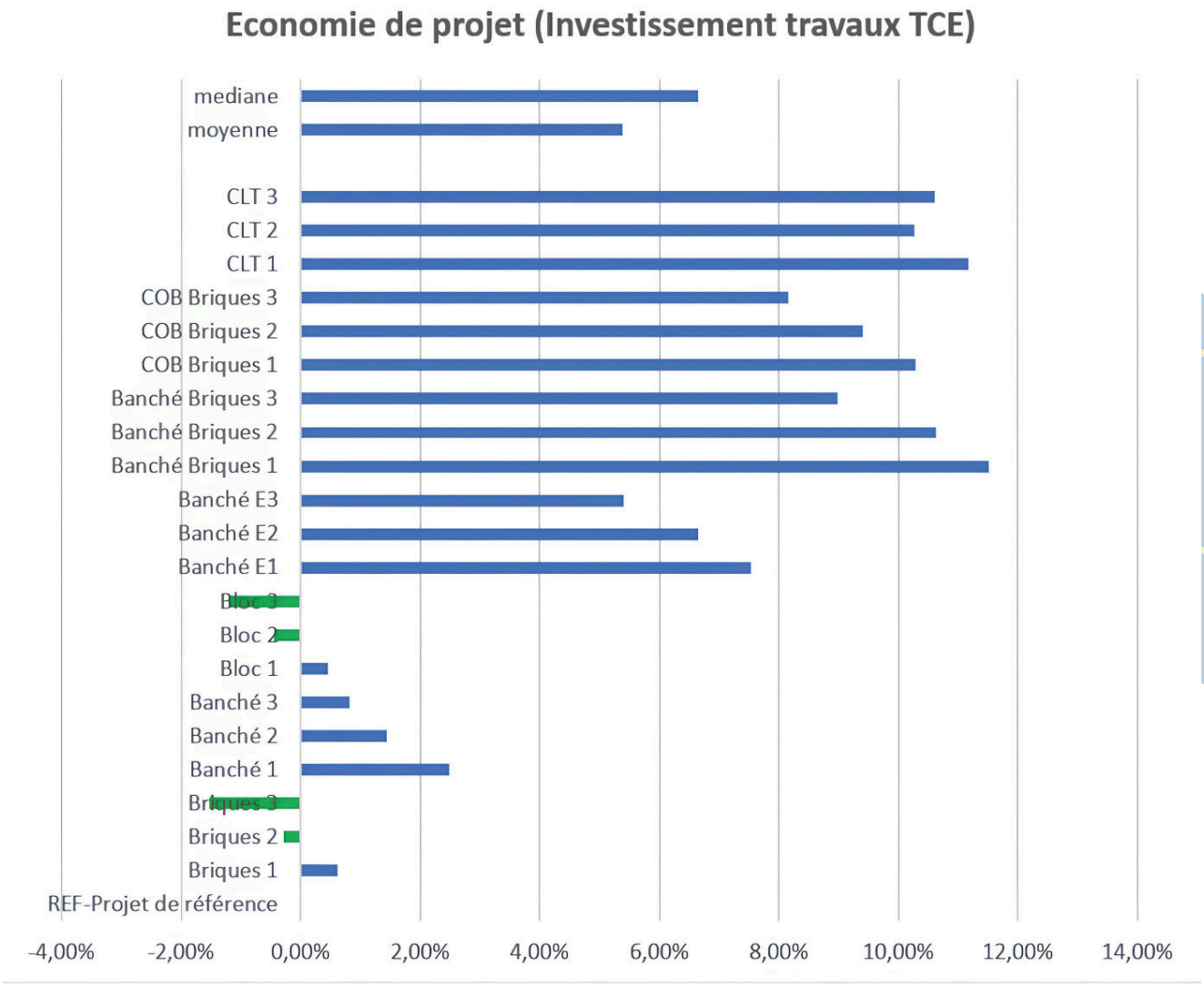
Économie de projet

Nous comparons dans un premier temps les montants d'investissement résultant des simulations (en euros HT-valeur août 2025) :



Quatre variantes (en VERT) présentent un coût d'investissement inférieur à la solution de référence : Briques 2 et 3 puis Bloc 2 et 3

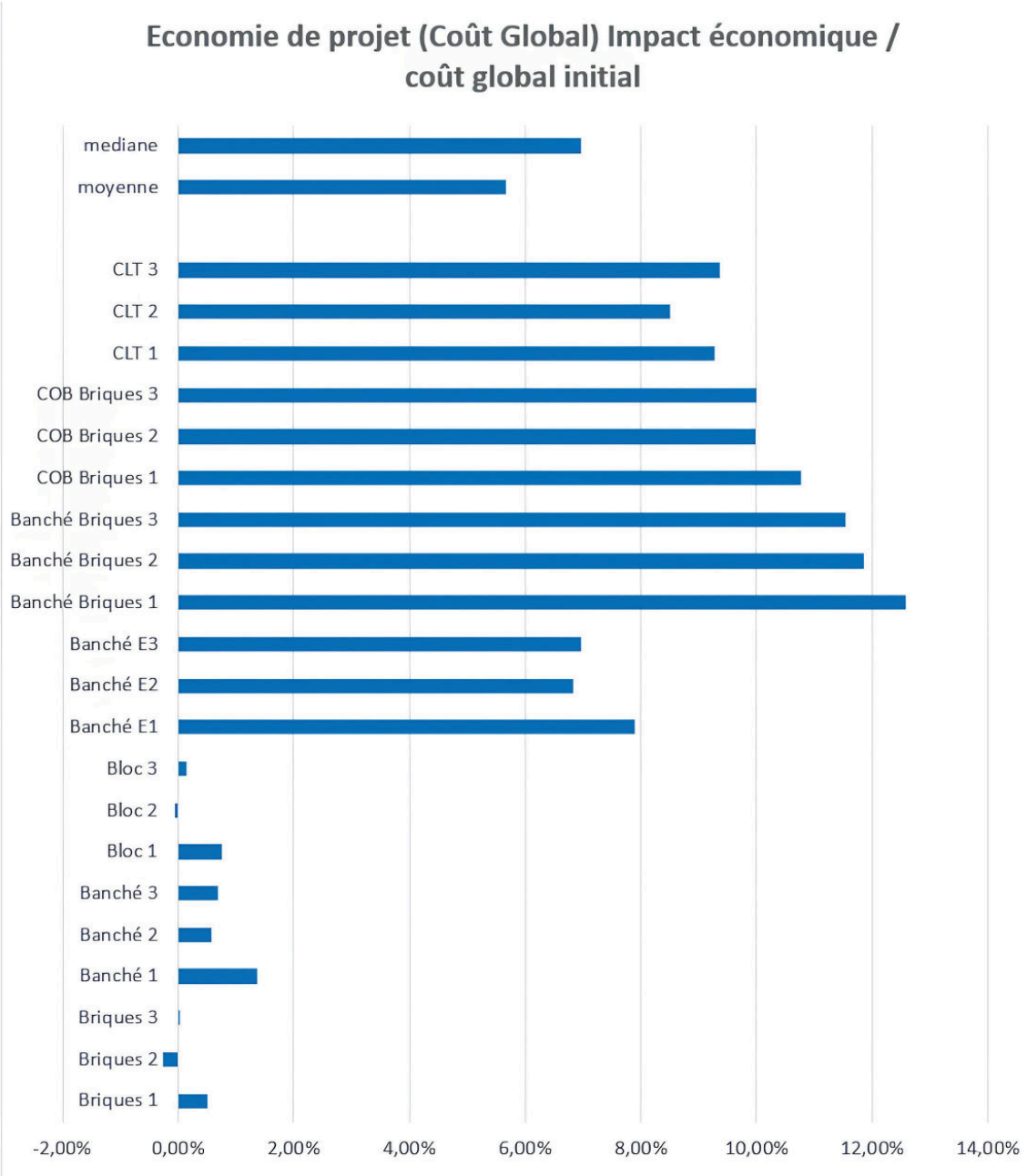
Voici l'impact sur le coût d'investissement, présenté en pourcentage par rapport à la solution de référence :



Nous considérons qu'une évolution de moins de 3% du coût d'investissement est acceptable dans le processus de conception d'un projet. Étant connu très tôt dans la conception, il peut être compensé par des gains sur d'autres postes.

Coût global

En coût global, chaque variante est comparée avec le projet de référence, avec les impacts en pourcentage :



- Les simulations en coût global évoluent beaucoup avec le recalage des résultats.
- Les calculs de l'exploitation/maintenance gagnent 1 M€ en coût global avec les mêmes facteurs d'inflation/actualisation. Un effet de la mise à jour récente du logiciel GESTIONA.
- Nous considérons qu'un impact allant jusqu'à 3% du coût global sur 50 ans, n'est pas de nature à remettre en cause les variantes.

Vous trouverez ci-après le détail des résultats en coût global de chaque variante :

			Investissement travaux seuls	Energies	Exploitation & Maintenance	Total cout global
projet de référence			3 109 529	1 119 969	3 668 484	**7 897 982**
variante 1	Briques 1	Tuiles terre cuite sur liteaux	3 129 848	1 119 969	3 688 902	**7 938 719**
variante 2	Briques 2	Bacs acier sur platelage bois	3 100 292	1 119 969	3 656 598	**7 876 859**
variante 3	Briques 3	Membrane d'étanchéité bitume + gravillons sur dalle béton et isolation PU	3 058 950	1 150 716	3 689 969	**7 899 635**
variante 4	Banché 1	Voile BA / Rupteurs thermiques / Tuiles terres cuite sur liteaux	3 191 901	1 128 988	3 686 373	**8 007 262**
variante 5	Banché 2	Voile BA / Rupteurs thermiques / Bacs aciers sur platelage bois	3 157 174	1 128 988	3 657 185	**7 943 347**
variante 6	Banché 3	Voile BA / Rupteurs thermiques / Membrane d'étanchéité bitume + gravillons sur dalle béton et isolation PU	3 136 516	1 125 555	3 690 169	**7 952 240**
variante 7	Bloc 1	Maçonnerie de ciment / Planelles isolées / Tuiles terres cuite sur liteaux	3 124 677	1 144 516	3 688 429	**7 957 622**
variante 8	Bloc 2	Maçonnerie de ciment / Planelles isolées / Bacs aciers sur platelage bois	3 095 121	1 144 516	3 656 482	**7 896 119**
variante 9	Bloc 3	Maçonnerie de ciment / Planelles isolées / Membrane d'étanchéité bitume + gravillons sur dalle béton et isolation PU	3 069 292	1 152 920	3 688 126	**7 910 338**
variante 10	Banché E1	Voile BA / Tuiles terres cuite sur liteaux ETICS laine de roche + plaquettes de terre cuite	3 359 663	1 142 978	4 019 538	**8 522 179**
variante 11	Banché E2	Voile BA / Tuiles terres cuite sur liteaux ETICS laine de roche + plaquettes de terre cuite	3 316 914	1 142 978	3 977 745	**8 437 637**
variante 12	Banché E3	Voile BA / Tuiles terres cuite sur liteaux ETICS laine de roche + plaquettes de terre cuite	3 288 766	1 137 393	4 021 184	**8 447 343**
variante 13	Banché Briques 1	Voile BA / Tuiles terres cuite sur liteaux ITE Laine de roche / Double mur en briques de terre cuite de 11cm	3 491 852	1 140 211	4 260 244	**8 892 307**
variante 14	Banché Briques 2	Voile BA / Bacs aciers sur platelage bois ITE Laine de roche / Double mur en briques de terre cuite de 11cm	3 462 297	1 140 211	4 232 559	**8 835 067**
variante 15	Banché Briques 3	Voile BA / Membrane d'étanchéité bitume + gravillons sur dalle béton et isolation PU ITE Laine de roche / Double mur en briques de terre cuite de 11cm	3 407 760	1 137 393	4 264 012	**8 809 165**
variante 16	COB Briques 1	Mur ossature bois de 145mm / Tuiles terres cuite sur liteaux Isolation intégrée en laine de bois de 145mm + Doublage thermique en laine de bois de 45mm Double mur en briques de terre cuite de 11cm Double mur en briques de terre cuite de 11cm Nuancier classique	3 450 775	1 122 788	4 174 628	**8 748 191**
variante 17	COB Briques 2	Mur ossature bois de 145mm / Bacs aciers sur platelage bois Isolation intégrée en laine de bois de 145mm + Doublage thermique en laine de bois de 45mm Double mur en briques de terre cuite de 11cm Double mur en briques de terre cuite de 11cm Nuancier classique	3 421 220	1 122 788	4 141 460	**8 685 468**
variante 18	COB Briques 3	Mur ossature bois de 145mm / Membrane d'étanchéité bitume + gravillons sur dalle béton et isolation PU Isolation intégrée en laine de bois de 145mm + Doublage thermique en laine de bois de 45mm Double mur en briques de terre cuite de 11cm Double mur en briques de terre cuite de 11cm Nuancier classique	3 379 877	1 122 173	4 186 194	**8 688 244**
variante 19	CLT 1	Murs en panneaux CLT de 200mm / Tuiles terres cuite sur liteaux Isolation extérieure en laine de bois chevillée / Bardage ventilé en tuiles de terre cuite	3 480 045	1 133 344	4 017 038	**8 630 427**
variante 20	CLT 2	Murs en panneaux CLT de 200mm / Tuiles terres cuite sur liteaux Isolation extérieure en laine de bois chevillée / Bardage ventilé en tuiles de terre cuite	3 450 489	1 133 344	3 986 664	**8 570 497**
variante 21	CLT 3	Murs en panneaux CLT de 200mm / Tuiles terres cuite sur liteaux Isolation extérieure en laine de bois chevillée / Bardage ventilé en tuiles de terre cuite	3 461 251	1 133 959	4 042 154	**8 637 364**

De plus, les variantes impactent les épaisseurs de parois de façade et donc potentiellement la SHAB :

- Les solutions Briques, Banché et Bloc et COB BRIQUES ne modifient pas la SHAB du projet de référence
- La solution Banché E implique une emprise sur la SHAB de 106 m² (+ 10,5cm sur toutes les façades)
- La solution Banché + Briques implique une emprise sur la SHAB de 207 m² (+ 20,5cm sur toutes les façades)
- La solution CLT + Tuiles implique une emprise sur la SHAB de 116 m² (+ 11,5cm sur toutes les façades)

Pour un promoteur, la perte d'un m² de SHAB implique un manque à gagner d'environ 3 500 €/m² TTC soit par exemple pour 105 m² (moyenne des pertes ci-dessus) de SHAB en moins, un manque à gagner de 366 993 € TTC.

9. CONCLUSIONS

En conclusion, nous pouvons classer les variantes selon deux méthodes :

- Méthode mathématique simple sans pondération des thématiques (la thermique a le même poids que l'investissement par exemple)
- Méthode pondérée selon le tableau ci-dessous

Thématique	Pondération en faveur de l'investissement	Méthode pondérée en faveur du coût global
Thermique	3	3
Carbone	2	2
Investissement	5	1
Cout global	1	5

Méthode mathématique simple sans pondération des thématiques (la thermique a le même poids que l'investissement, par exemple)		Méthode pondérée en faveur de l'investissement		Méthode pondérée en faveur du coût global	
Rang	**Variante**	**Rang**	**Variante**	**Rang**	**Variante**
1	Briques 2	1	Briques 2	1	Briques 2
2	Briques 1	2	Briques 1	2	Briques 1
3	**Projet de référence**	**3**	**Projet de référence**	**3**	**Projet de référence**
4	Bloc 2	4	Banché 2	4	Bloc 2
5	Banché 2	5	Bloc 2	5	Briques 3
6	Bloc 1	6	Banché 1	6	Banché 2
7	Banché 1	7	Bloc 1	7	Bloc 3
8	Briques 3	8	Briques 3	8	Banché 3
9	Bloc 3	9	Banché 3	9	Bloc 1
10	Banché 3	10	Bloc 3	10	Banché 1
11	CLT 2	11	CLT 2	11	CLT 2
12	COB Briques 2	12	COB Briques 2	12	COB Briques 2
13	Banché E2	13	Banché E2	13	CLT 1
14	COB Briques 1	14	COB Briques 1	14	Banché E2
15	Banché E1	15	Banché E1	15	COB Briques 1
16	CLT 1	16	CLT 1	16	CLT 3
17	COB Briques 3	17	COB Briques 3	17	COB Briques 3
18	Banché E3	18	Banché E3	18	Banché E1
19	CLT 3	19	CLT 3	19	Banché E3
20	Banché Briques 3	20	Banché Briques 3	20	Banché Briques 3
21	Banché Briques 2	21	Banché Briques 2	21	Banché Briques 2
22	Banché Briques 1	22	Banché Briques 1	22	Banché Briques 1

10. SYNTHÈSE

Selon les simulations réalisées, avec ou sans pondération, **les solutions structurelles en terre cuite sont les plus performantes.**

Cependant, ces simulations sont à analyser individuellement en fonction des critères sélectionnés et de l'importance respective qu'on leur accorde.

Juillet 2026

Untec Services

Untec
Services