

# Rapport final : Audit énergétique CROUS Sartre Belfort

Établi pour le CROUS de Bourgogne-Franche-Comté



Mandat n°18890

Version n°4 du 20 mai 2025

À l'attention de la Direction du Patrimoine

32 avenue de l'Observatoire, 25000 Besançon

- Mme Magdalena DURAND, Directrice du Patrimoine

[magdalena.durand@crous-bfc.fr](mailto:magdalena.durand@crous-bfc.fr)

06 40 99 04 54

- M. Christian BOITEUX, Référent énergie

[christian.boiteux@crous-bfc.fr](mailto:christian.boiteux@crous-bfc.fr)

03 81 48 46 55



# Résumé exécutif

Le **CROUS de Bourgogne-Franche-Comté** souhaite lancer un projet de **rénovation énergétique** sur une partie de son parc immobilier.

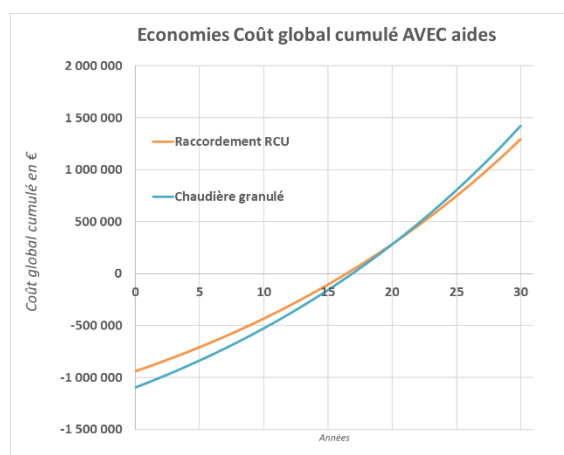
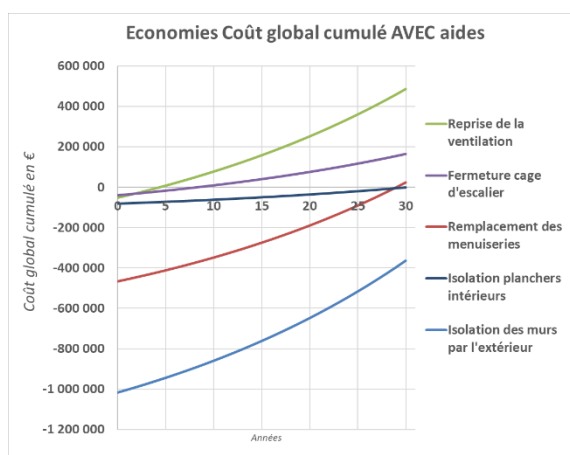
Les bâtiments A et B de la **résidence Jean Paul Sartre** de Belfort font partie des bâtiments dont la rénovation est d'ores et déjà actée. Ces bâtiments ont été construits au début des années 1990' accueillent **143 logements étudiants**. Le premier bâtiment est une **tour circulaire** qui s'élève sur **11 étages**. Le second est une **barre** qui s'élève sur **4 étages**.

L'ensemble est chauffé par des **radiateurs électriques individuels**. L'ECS est également produite en décentralisée par des chauffe-eaux électriques individuels.

Les bâtiments disposent globalement d'une première couche d'isolation qui se révèle néanmoins largement insuffisante aujourd'hui.

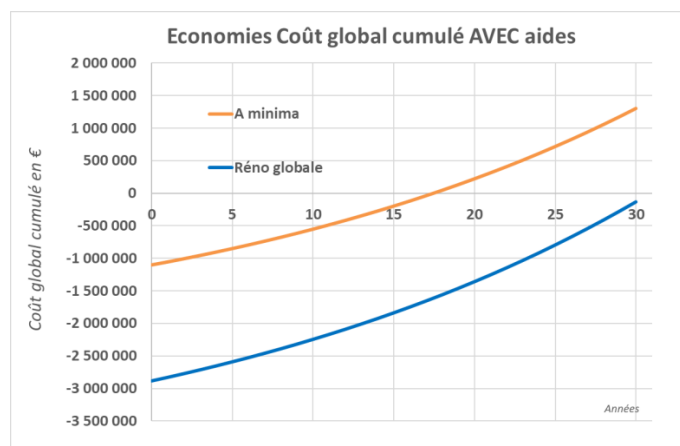
Les usagers souffrent été comme hiver de problématiques de **confort**, et le bâtiment est relativement vétuste par endroit par manque de chauffage et défaillance du réseau de ventilation.

Le présent rapport propose différents **travaux d'améliorations énergétiques**, combinés dans deux **scénarios** de rénovation énergétique. Comparé à un scénario à minima, la rénovation globale du bâtiment n'atteint **pas de rentabilité**. Il est cependant **largement privilégié** car il traitera l'ensemble des enjeux de confort et de vétusté des bâtiments et permettra ainsi de pérenniser ces bâtiments et d'accueillir au mieux les étudiants.



## Synthèse améliorations

| Amélioration                       | Conso<br>[Mwhet/an] |      | Ratio<br>Conso<br>[kwhet/m².an] | Emission CO2<br>[tCO2eq] |      | Coût des travaux [€TTC]<br>Sans aides Avec aides |             | Détail aides<br>mobilisables<br>CEE | Facture énergétique 5 usages<br>[€TTC] |           | Temps de retour avec aides<br>Sans aides Avec aides |         |
|------------------------------------|---------------------|------|---------------------------------|--------------------------|------|--|-------------|-------------------------------------|--|-----------|---|---------|
|                                    |                     |      |                                 |                          |      |  |             |                                     |  |           |   |         |
| Existant                           | 492                 |      | 159                             | 37                       |      |  |             |                                     | 118 940 €                              |           |   |         |
| Isolation des murs par l'extérieur | 435                 | -12% | 141                             | 32                       | -12% | 1 038 800 €                                      | 1 015 300 € | 23 500 €                            | 105 260 €                              | -13 680 € | >30 ans   | >30 ans |
| Remplacement des menuiseries       | 449                 | -9%  | 145                             | 33                       | -9%  | 480 000 €  | 466 700 €   | 13 300 €                            | 108 620 €                              | -10 320 € | 30 ans  | 29 ans  |
| Reprise de la ventilation          | 445                 | -10% | 144                             | 33                       | -10% | 52 200 €   | 52 200 €    | -                                   | 107 660 €                              | -11 280 € | 4 ans   | 4 ans   |
| Fermeture cage d'escalier          | 474                 | -4%  | 153                             | 35                       | -4%  | 40 400 €   | 40 400 €    | -                                   | 114 620 €                              | -4 320 €  | 8 ans   | 8 ans   |
| Chaudière granulés                 | 611                 | +24% | 198                             | 24                       | -35% | 1 110 100 €                                      | 1 095 000 € | 15 100 €                            | 70 780 €                               | -48 160 € | 17 ans  | 17 ans  |
| Raccordement RCU                   | 582                 | +18% | 188                             | 31                       | -14% | 938 800 €  | 938 800 €   | -                                   | 75 990 €                               | -42 950 € | 16 ans  | 16 ans  |
| Isolation planchers intérieurs     | 485                 | -1%  | 157                             | 36                       | -2%  | 84 000 €   | 80 900 €    | 3 100 €                             | 117 260 €                              | -1 680 €  | >30 ans   | 30 ans  |



| Sartre Belfort  |           | Existant / Coût travaux [€TTC] | A minima           | Rénovation globale |
|---|-----------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| Isolation des murs par l'extérieur                    |           | 1 038 840 €                    |                    | ✓                  |
| Remplacement des menuiseries                          |           | 480 000 €                      |                    | ✓                  |
| Reprise de la ventilation                             |           | 52 200 €                       | ✓                  | ✓                  |
| Fermeture cage d'escalier                             |           | 40 440 €                       |                    | ✓                  |
| Chaudière granulés                                    |           | 1 110 120 €                    |                    |                    |
| Raccordement RCU                                      |           | 938 760 €                      | ✓                  | ✓                  |
| Isolation planchers intérieurs                        |           | 84 000 €                       |                    | ✓                  |
| Honoraires maîtrise d'œuvre [€TTC]                    |           |                                | 109 000 €          | 289 800 €          |
| <b>Coût travaux, compris honoraires [€TTC]</b>        |           | -                              | 1 100 000 €        | 2 924 000 €        |
| <b>Coûts d'exploitation [€TTC]</b>                    |           | 118 940 €                      | 72 030 €           | 64 120 €           |
| Dépenses énergétiques [€TTC]                          |           | 118 140 €                      | 56 200 €           | 48 290 €           |
| Abonnements [€TTC]                                    |           | 0 €                            | 15 030 €           | 15 030 €           |
| Entretien/maintenance [€TTC]                          |           | 800 €                          | 800 €              | 800 €              |
| <b>Aides</b>  | Aides CEE | -                              | 0 €                | 39 900 €           |
| <b>TOTAL reste à charge après aides [€TTC]</b>        |           | -                              | <b>1 099 966 €</b> | <b>2 884 106 €</b> |
| Temps de retour après aides                           |           | -                              | 17 ans             | >30 ans            |
| Cef [MWh/an]  |           | <b>492</b>                     | <b>507</b>         | <b>357</b>         |
| Ratio Cef [kWh/m².an]                                 |           | <b>159</b>                     | <b>164</b>         | <b>116</b>         |
| Gain Cef ini  |           | -                              | 3%                 | -27%               |
| Emission de CO2 [T/an]                                |           | 37                             | 28                 | 20                 |
| Classe Energie  |           | C                              | D                  | C                  |
| Classe Carbone  |           | B                              | B                  | A                  |
| Cep [kWh <sub>ep</sub> /m².an]                        |           | 369,9                          | 226,3              | 197,9              |
| Gain Cep ini  |           | -                              | -39%               | -47%               |
| Cible BBC Effilgis<br>Sous réserve respect garde-fous |           | ✗                              | ✗                  | ✗                  |
| Besoins de chauffage [kW]                             |           | 300                            | 260                | 170                |

Récapitulatif des préconisations élémentaires et des scénarii de travaux

# Sommaire

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Résumé exécutif .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>Sommaire .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>1. Présentation générale .....</b>  | <b>6</b>  |
| 1.1 Projet du mandataire .....   | 6         |
| 1.2 Intervenants .....   | 6         |
| 1.3 Visite du site et réunion de lancement .....                             | 6         |
| <b>2. Méthodologie .....</b>   | <b>7</b>  |
| 2.1 Décret tertiaire .....   | 7         |
| 2.2 Aides mobilisables .....   | 7         |
| 2.3 Modélisation du bâtiment .....   | 8         |
| <b>3. Etat initial .....</b>   | <b>9</b>  |
| 3.1 Caractéristiques générales .....   | 9         |
| 3.2 Enveloppe .....  | 11        |
| 3.2.1 Murs extérieurs .....  | 11        |
| 3.2.2 Toiture .....  | 11        |
| 3.2.3 Planchers .....  | 12        |
| 3.2.4 Menuiseries .....  | 13        |
| 3.2.5 Ventilation .....  | 14        |
| 3.2.6 Étanchéité à l'air du bâtiment .....                                   | 16        |
| 3.2.7 Synthèse déperditions .....  | 17        |
| 3.2.8 Confort estival .....  | 18        |
| 3.3 Systèmes .....   | 19        |
| 3.3.1 Chauffage .....  | 19        |
| 3.3.2 Eau Chaude Sanitaire .....   | 19        |
| 3.3.3 Éclairage .....  | 20        |
| 3.4 Analyse des factures et des consommations réelles .....                  | 21        |
| 3.4.1 Consommations énergétiques .....                                       | 21        |
| 3.4.2 Contrats et prix énergie .....   | 22        |
| <b>4. Travaux par poste .....</b>  | <b>23</b> |
| 4.1 Isolation des façades par l'extérieur .....                              | 23        |
| 4.2 Isolation des planchers bas intérieurs .....                             | 25        |
| 4.3 Fermeture cage d'escalier – Tour .....                                   | 25        |
| 4.4 Remplacement des menuiseries .....                                       | 26        |
| 4.5 Ventilation .....  | 26        |
| 4.6 Changement système de chauffage .....                                    | 27        |
| 4.6.1 Réseau de chaleur de Belfort .....                                     | 27        |
| 4.6.2 Chaudière biomasse .....   | 28        |
| 4.6.3 Réseau de distribution .....   | 29        |
| 4.7 Améliorations non retenues .....   | 31        |
| 4.8 Synthèse des préconisations .....  | 33        |
| <b>5. Scénario de travaux .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>6. Synthèse – Mise à jour de l'audit .....</b>                            | <b>37</b> |
| 6.1 Remplacement des menuiseries – Version bois/alu .....                    | 37        |
| 6.2 Traitement des ponts thermiques de dalle intermédiaire des loggias ..... | 37        |
| 6.3 Fermeture des loggias .....  | 38        |
| 6.4 Approche 3CL DPE .....   | 40        |
| <b>7. Conclusion .....</b>   | <b>43</b> |
| <b>ANNEXE 1. GLOSSAIRE .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>ANNEXE 2. Coût global cumulé .....</b>                                    | <b>47</b> |
| <b>ANNEXE 3. Plans .....</b>   | <b>48</b> |

Florian Vautier



Florian.vautier@planair.fr, +33 9 70 75 13 29

Planair France SAS - [info@planair.fr](mailto:info@planair.fr) [www.planair.fr](http://www.planair.fr)

SIRET 522 850 155- RCS Besançon - SAS au capital de 15'000 euros

APE 7112B – TVA 465 228 0501 55

Roméo Constant



Romeo.constant@planair.fr, +33 9 70 75 13 21

Planair France SAS - [info@planair.fr](mailto:info@planair.fr) [www.planair.fr](http://www.planair.fr)

SIRET 522 850 155- RCS Besançon - SAS au capital de 15'000 euros

APE 7112B – TVA 465 228 0501 55

| N° version | Date       | Modifications   |
|------------|------------|---|
| 01         | 14.03.2025 |   |
| 02         | 19.05.2025 | Mise à jour suite rendu final selon questions AMO <ul style="list-style-type: none"><li>- MAJ surcoût menuiseries bois/alu.</li><li>- Gains énergétiques traitement du pont thermique de dalle intermédiaire des loggias de la tour.</li><li>- Gains énergétiques fermetures des loggias selon proposition technique de l'AMO.</li><li>- Approche 3CL DPE des scénarios proposés.</li></ul> |
| 03         | 19.05.2025 | MAJ suite retour AMO  |
| 04         | 20.05.2025 | MAJ suite retour AMO  |

## 1. Présentation générale

### 1.1 Projet du mandataire

Le **CROUS de Bourgogne-Franche-Comté** souhaite lancer un projet de **rénovation énergétique** ambitieux pour améliorer la performance thermique de plusieurs de ses bâtiments à Besançon, Dijon ou encore Belfort. L'objectif est de réduire la facture énergétique ainsi que les émissions de CO<sub>2</sub>, mais aussi d'améliorer le confort des différents usagers. Le CROUS BFC a donc sollicité Planair France SAS pour réaliser des **audits énergétiques** qui serviront d'aide à la décision sur les travaux à engager.

L'objectif de ces audits est donc multiple :

- Vérifier par un calcul simulé réel les pistes de travaux permettant d'estimer au plus juste les gains. Il s'agit de tracer une **feuille de route cohérente** afin de pérenniser le bâtiment et réduire ses consommations.
- Quantifier la **pertinence technico-économique** de ces préconisations.
- Vérifier par un calcul réglementaire (méthode THCE-ex) l'atteinte des niveaux de performance **ouvrant droit aux aides**.

Les bâtiments A et B de la **résidence Jean Paul Sartre**, sis au 1 rue Gaston Defferre à **Belfort**, objet de ce rapport accueillent **143 logements étudiants**.

### 1.2 Intervenants

Maître d'ouvrage : **Magdalena DURAND**, Directrice du Patrimoine

**Christian BOITEUX**, Référent énergie

Bureau d'études : **Florian VAUTIER**, Responsable de projets bâtiments durables

**Roméo CONSTANT**, Ingénieur thermicien

### 1.3 Visite du site et réunion de lancement

Les bâtiments ont été visités le jeudi 16 janvier 2025 en présence de la gardienne de la résidence, M. Chaput n'ayant pas pu se rendre disponible.

Des échanges préliminaires avec M. Chaput et au cours de la visite avec la gardienne ont permis de faire le point sur le bâtiment et ses problématiques :

- Apparition de moisissures lorsque la ventilation était défectueuse et qu'un logement n'était pas occupé pendant plusieurs mois.
- Problèmes de confort en été comme en hiver.
- Certains logements ayant plus d'une façade déperditive (2 murs extérieurs, un mur et une dalle déperditive, etc) ne parviennent pas à monter en température en hiver.

## 2. Méthodologie

### 2.1 Décret tertiaire

Les résidences étudiantes ne sont pas soumises au décret tertiaire (décret 2019-771 du 23 juillet 2019, précisé par arrêté le 10 avril 2020).

<https://operat.ademe.fr/#/public/faq>

*A15 – Le cas des résidences universitaires ou des résidences étudiantes*

*Les résidences universitaires (CROUS) ou les résidences étudiantes (Secteur Privé) sont-elles concernées par le dispositif d'actions de réductions des consommations d'énergie dans les bâtiments à usage tertiaire (dispositif "Eco Energie Tertiaire") ?*

*Les résidences universitaires ou les résidences étudiantes ne sont pas concernées par le dispositif "Eco Energie Tertiaire" pour leurs parties hébergements : elles relèvent de la catégorie "logement" pour la partie hébergement et ne sont donc pas dans le secteur tertiaire.*

*Seuls les services associés qui peuvent exister dans ces bâtiments (restauration, salle de sport, blanchisserie, ou autres services commerciaux) peuvent potentiellement être assujettis au dispositif "Eco Energie Tertiaire" dès lors que la surface cumulée de ces activités tertiaires est supérieure ou égale à 1000 m<sup>2</sup> (Cf. 2° et 3° de l'article R. 174-22 du code de la construction et de l'habitation).*

### 2.2 Aides mobilisables

- **Certificats d'Economie d'Energie (CEE)** : dispositif ouvert à tout maître d'ouvrage. Les économies engendrées par des travaux énergétiques peuvent être valorisées auprès d'obligataires (entreprise ayant des activités polluantes). Cela concerne un grand nombre de travaux énergétique. Le montant actuel du CEE est d'environ 7c€/kWhcumac.

En accord avec le CROUS, les CEE mobilisés pour les bâtiments Sartre A et B sont tirés des fiches bâtiments résidentiels (BAR- EN-...).

- **Contrats de plan État-Région (CPER)** : outil de développement entre l'État et les régions qui a pour vocation de financer des projets structurants. Le CPER 2021-2027 de Bourgogne-Franche-Comté a défini la contribution à l'objectif de la neutralité carbone comme l'un des 3 objectifs stratégiques.

Parmi les grandes priorités, le premier thème consacre l'enseignement supérieur avec notamment « un volet immobilier ambitieux » comprenant « la rénovation énergétique du parc immobilier universitaire ».

- **Appels à projet** : non déterminés

## 2.3 Modélisation du bâtiment

Après visite sur site et analyse de l'état existant, nous avons effectué une modélisation du bâtiment sur le logiciel BAO Promodul version 2.0.75. Ce logiciel permet de calculer des consommations énergétiques via deux méthodes :

- La méthode réelle<sup>1</sup>, ou mensuelle, permet de mettre en accord la simulation du bâtiment avec son utilisation réelle et ses consommations réelles. Elle permet donc d'obtenir les gains réels des mesures d'amélioration.
- Un calcul réglementaire. Cette méthode de calcul ne considère pas les comportements réels mais un comportement moyen, permettant de caractériser le bâtiment indépendamment de l'usage et des personnes qui l'occupent ou l'occuperont. Les consommations via ce mode de calcul s'avèrent plus élevées que les consommations réelles. Cependant elles permettent de se projeter dans l'avenir.

**La méthode retenue pour les calculs (existants et préconisations) est la méthode réelle mensuelle.**

La méthode réglementaire ne sera utilisée que pour vérifier la conformité du bâtiment aux exigences de labels lors des scénarii.

Sont saisis dans ce logiciel :

- Fichier météorologique de la station la plus proche (fréquence des températures).
- Modélisation du bâtiment :
  - Saisie des surfaces et de la composition des différents éléments d'enveloppe ;
  - Saisie des systèmes de chauffage, ventilation, éclairage, distribution, etc. puissance installée, débits, régulation, consignes, rendements, etc.
- Les différentes zones thermiques du bâtiment ; des scénarii d'occupation sont prédéfinis selon l'usage avec possibilité d'adapter en fonction de l'usage réel.

Cette saisie minutieuse basée sur les données récoltées en amont et lors de la visite permet d'obtenir un modèle représentatif du bâtiment avec des consommations calées aux consommations réelles.

Dans la suite du rapport, les consommations présentées sont basées sur les consommations réelles.

---

<sup>1</sup> Méthode basée sur le moteur de calcul RT2012 ouvert, c'est-à-dire avec possibilité de modifier les scénarii (occupation, chauffage, etc.), les consignes de température, etc.



### 3. Etat initial

#### 3.1 Caractéristiques générales

Les bâtiments de la **résidence Jean Paul Sartre** ont été construits au début des années 1990'.

Le premier bâtiment est une **tour circulaire** qui s'élève sur **11 étages**. Nous l'appellerons « bâtiment A » ou « tour » dans ce rapport.

Cette tour est composée de différents locaux techniques et de stockage au RDC et R+1 puis d'appartements qui s'étendent du R+2 au R+11.

Le second bâtiment est une **barre** qui s'élève sur **4 étages**. Nous l'appellerons « bâtiment B » ou « barre » dans ce rapport.

Cette barre est composée d'un garage, du local d'accueil, d'un local technique et d'une laverie au RDC. Les appartements s'étendent ensuite R+1 au R+4.

Les façades principales sont orientées Est-Ouest. La tour agit comme un masque sur la barre.



Les bâtiments accueillent **143 logements étudiants**.

| Fiche descriptive                          |                         |                     |  |
|--|-------------------------|---------------------|--|
| Année de construction                      | Début des années 1990'. | Système constructif | Murs béton sous toiture terrasse accessibles |
| Nombre de niveaux chauffés                 |                         |                     | Tour : 10<br>Barre : 5                       |
| Surface SRT (m <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> |                         |                     | 3 400 m <sup>2</sup> *                       |
| Surface SDP (m <sup>2</sup> ) <sup>3</sup> |                         |                     | 3 000 m <sup>2</sup> *                       |
| Altitude (m)                               |                         |                     | 365 m  |

\* Surfaces estimées, à confirmer par un géomètre

<sup>2</sup> Surface thermique au sens de la Réglementation Thermique ; en tertiaire surface utile multipliée par un coefficient fonction de l'usage - [Fiche La Surface pour RT.pdf \(vienne.gouv.fr\)](#)

<sup>3</sup> Surface De Plancher au sens du code de l'urbanisme ; critère d'éligibilité au décret tertiaire notamment (> 1000 m<sup>2</sup>) - [Article R111-22 - Code de l'urbanisme - Légifrance \(legifrance.gouv.fr\)](#)

Historique des travaux réalisés :

- 2016 : Rénovation des toitures (isolation et étanchéité).
- 2022-23 : Remplacement de certains caissons de ventilation.
- Jusqu'à aujourd'hui : Réfection progressive des logements à environ 6 logements / an. Remise au propre des peintures, changement des radiateurs, passage au LED, remplacement du ballon ECS, etc. Pas de mesure d'isolation. Plus des trois quarts des logements ont déjà été réfectionnés et le reste sera fait progressivement. Dans le présent rapport, nous prendrons l'hypothèse que l'ensemble des logements sont réfectionnés.



## 3.2 Enveloppe

### 3.2.1 Murs extérieurs

Pour les deux bâtiments, les murs extérieurs des bâtiments sont des murs en **béton** d'environ **20 cm** d'épaisseur, doublés par l'intérieur par un complexe isolant de type Placomur® composé de **8 cm d'isolant PSE**.

Le plan de l'isolation est coupé au niveau de chaque refend qui s'épare les logements. Cela créer d'importants **ponts thermiques**, non traités à ce jour. Ce plan d'isolation est coupé au niveau de chaque dalle intermédiaire. Les loggias de la tour rendront difficile le traitement de ces ponts thermique de dalle. De même, plusieurs décalages de plans de murs extérieurs créent des ponts thermiques.





Il existe également des **murs intérieurs**, notamment les murs donnant sur les bureaux du rez-de-chaussée de la barre.



Murs extérieurs  
Bâtiment A



Décalage murs extérieurs  
Bâtiment A

| Localisation                      | Surface (m <sup>2</sup> ) | U murs (W/m <sup>2</sup> .K) | U réf BBC (W/m <sup>2</sup> .K) | Performance thermique   | Vétusté   |
|-----------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------------|---|---|
| Murs extérieurs                   | 2 100 m <sup>2</sup>      | 0,48                         | 0,15 à 0,2                      |  |  |
| Murs intérieurs barre sur bureaux | 30 m <sup>2</sup>         | 2,7                          |                                 |  |  |

### 3.2.2 Toiture

L'ensemble des toits du bâtiment sont en **toiture terrasse**. Celles-ci ont été rénovées en 2016. Cette rénovation a consisté en la mise en place de **10 cm de polyuréthane** et d'un complexe d'étanchéité.

Bien que datant de 2016, ce niveau d'isolation reste **en deçà des standards actuels**. Entamer une nouvelle rénovation des toitures 10 ans après la précédente n'est pas pertinente ici, mais il est dommage de ne pas être allé au bout de la démarche dans un premier temps.



Une partie de la toiture de la tour est en très légère pente. Sur ces toitures, cheminent les réseaux et caissons de ventilation. L'eau pluviale n'est pas entièrement évacuée et stagne sur la toiture.



Toiture terrasse  
Bâtiment B



Eau stagnante  
Bâtiment B

| Localisation     | Surface (m <sup>2</sup> ) | U toiture (W/m <sup>2</sup> .K) | U réf BBC (W/m <sup>2</sup> .K) | Performance thermique  | Vétusté  |
|------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|--|
| Toiture terrasse | 630 m <sup>2</sup>        | 0,24                            | 0,1 à 0,15                      |  |  |

### 3.2.3 Planchers

Concernant la **barre** :

- Une partie des planchers déperditifs donne sur le **garage**. Ce plancher est constitué d'une dalle **béton** de **20 cm** doublée en sous-face par **8 cm de fibrastyrène** (2 cm de laine de bois minéralisée et 6 cm de PSE).
- Lors de la visite, nous n'avons pas pu déterminer si l'appartement du R+2 au nord de la barre dispose d'une isolation du plancher bas donnant sur l'extérieur. Au vu de l'époque constructive, nous prenons l'hypothèse d'une légère isolation de la dalle.
- Enfin, le plancher bas de l'accueil et de la laverie est sur terre-plein, à priori non isolé.

Concernant la **tour** :

- Une partie des planchers déperditifs donne sur les **locaux non chauffés du R+1**. Ce plancher est constitué d'une dalle béton de **20 cm non isolée**.
- Sur les côtés du cercle, les planchers déperditifs du R+2 donnent sur l'extérieur. Ce plancher est constitué d'une dalle **béton** de **20 cm** isolée en sous-face par **10 cm de laine minérale vieillissante**.
- Enfin, une partie de plancher déperditif se situe au niveau du plancher du R+7. Nous n'avons pas obtenu de détail quant à la composition de ce plancher. Au vu de l'époque constructive, nous prenons l'hypothèse d'une légère isolation de la dalle.











Panneau de fibrastyrène  
Garages bâtiment B



Isolation laine minérale vieillissante  
Bâtiment A



Plancher bas R+2  
Appartement nord – Bâtiment B

| Localisation                   | Surface (m <sup>2</sup> ) | U plancher (W/m <sup>2</sup> .K)* | U réf BBC (W/m <sup>2</sup> .K) | Performance thermique   | Vétusté   |
|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---|---|
| Plancher sur extérieur         | 140 m <sup>2</sup>        | 0,48                              | 0,15 à 0,2                      |    |    |
| Plancher garage barre          | 300 m <sup>2</sup>        | 0,4                               |                                 |   |   |
| Plancher barre sur terre-plein | 60 m <sup>2</sup>         | 0,65                              |                                 |  |  |
| Plancher intérieur             | 120 m <sup>2</sup>        | 2,2                               |                                 |  |  |

\* Uéquivalent, intégrant l'effet tampon des volumes enterrés inférieurs

### 3.2.4 Menuiseries

Dans l'ensemble, les menuiseries des bâtiments sont en **PVC** :

- **Double vitrage 4 10 4** sans couche basse émissivité, ni intercalaire WarmEdge.
- Ces menuiseries datent de la construction de ces bâtiments et sont **relativement vieillissantes**.
- Les menuiseries donnant sur les logements étudiants ne disposent **pas de volets extérieurs** mais de rideaux intérieurs occultants.

Certaines de ces fenêtres sont rondes, un point d'attention particulier devra être apporté au moment des travaux, notamment en cas d'isolation par l'extérieur.

Un apport de lumière est assuré en toiture par des **skydomes**. Les skydomes de la tour donnent directement sur des logements et dégradent fortement le confort et les performances de ces logements. Lors de la visite, certains nous ont semblés en mauvais état et avec des performances **médiocres**. Cependant, les documents transmis par la suite par le CROUS semblent indiquer un remplacement de ces skydomes. Nous n'en savons pas plus sur le sujet.

À noter que l'une des menuiseries des communs du premier étage de la barre est cassée, ce qui participe à l'ambiance très froide du bâtiment. Nous avons mesuré des températures à 7°C dans certains communs.

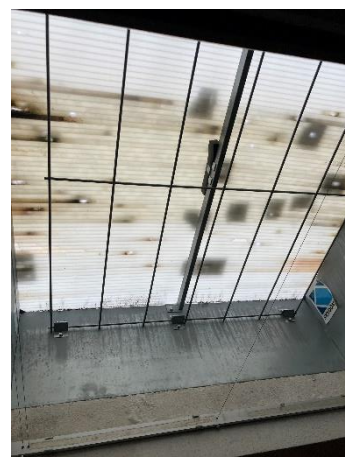




Menuiserie PVC chambre  
Bâtiment B



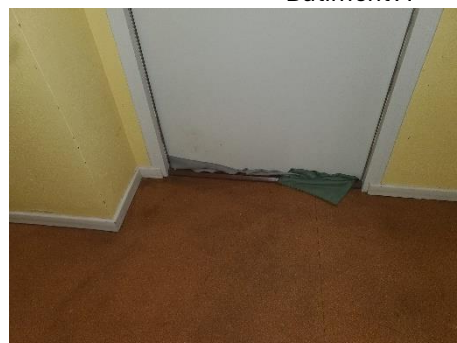
Menuiserie PVC chambre  
Bâtiment B




Skydome depuis logement  
Bâtiment A



Fenêtre cassée  
Bâtiment B



Porte d'un logement depuis les communs  
Se protège du froid provenant des communs

| Localisation             | Surface (m <sup>2</sup> ) | Description                      | Uw / Ud (W/m <sup>2</sup> .K) | Uréf BBC (W/ m <sup>2</sup> .K) | Perf.   | Vétusté   |
|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---|---|
| Fenêtre et porte-fenêtre | 500 m <sup>2</sup>        | PVC 4 10 4 sans basse émissivité | 2,7                           | 0,7 à 1,3                       |  |  |

### 3.2.5 Ventilation

La ventilation est historiquement **problématique** dans les bâtiments de la résidence Sartre. En 2022-23, certains caissons de ventilation ont été changé, sans reprise du système complet du réseau.

Aujourd'hui le renouvellement d'air est assuré par un système de **ventilation mécanique simple-flux**.

- **2 caissons** compatibles hygroréglables sont présents sur la toiture de la **barre**, pour une puissance moteur totale de 1,4 kW. Sur la toiture de la **tour**, **3 caissons** compatibles hygroréglables sont présents mais l'un des trois ne fonctionne pas (panne), pour une puissance moteur totale de plus de 2 kW.

- Des **bouches d'extraction** sont présentes dans la salle de bain et la pièce de vie de chaque logement.
  - Les débits sont aujourd'hui relativement importants. Nous avons mesuré des débits jusqu'à 100 m<sup>3</sup>/h par logement. Ces débits varient entre 55 m<sup>3</sup>/h et 100 m<sup>3</sup>/h selon les logements. Un des logements non rénovés présentait un débit d'extraction de 18 m<sup>3</sup>/h.
  - Ces débits de 100 m<sup>3</sup>/h sont trop importants et sont signe d'un système de ventilation défaillant.
- Des **entrées d'air** simples sont présents sur les menuiseries des logements.
- Le réseau est globalement en **mauvais état**. En toiture d'une part avec des réseaux vieillissants et corrodés, et dans les gaines d'autre part d'après le CROUS. Nous n'avons pas pu vérifier ce point lors de la visite.

Les réseaux de ventilation circulent d'étage en étage dans des **colonnes techniques palières**.



Bouche extraction salle de bain



Bouche entrée d'air chambre






Caisson en toiture terrasse



Cheminement en gaine technique



Apparition de moisissures

| Localisation | Qualité d'air   | Performance   | Vétusté   |
|--------------|---|---|---|
| Généralisée  |  |  |  |

### 3.2.6 *Étanchéité à l'air du bâtiment*

Aucun test n'a été réalisé à ce stade.

Toutefois, les menuiseries sont vieillissantes et peu étanches à l'air. De même, des infiltrations d'air sont présentes au niveau des escaliers qui ne sont pas isolés.

**Perméabilité  
bâtiment**





### 3.2.7 Synthèse déperditions

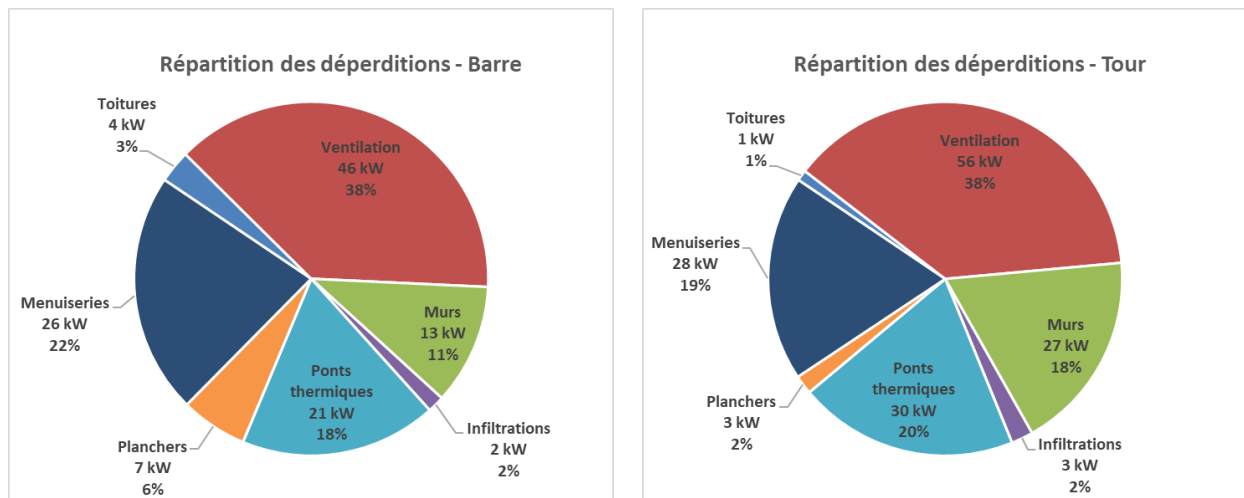


Figure 1 : Bilan déperdition enveloppes – intègre la performance intrinsèque des parois et leur surface

Les déperditions du bâtiment s'élèvent à 260 kW (par -15°C extérieur), soit avec un peu de surpuissance 300 kW nécessaire.

De nombreuses hypothèses viennent nuancer ce propos, notamment l'usage des bâtiments. Nous prenons en compte que les bâtiments sont chauffés « normalement ». Or, nous savons que la précarité étudiante mène à la précarité énergétique, et nous avons pu constater lors de la visite que les logements ne sont globalement pas chauffés de manière uniforme. Nous ne disposons également pas de consommation globale qui nous permettrait de caler le modèle sur ces consommations réelles.

#### Remarques bâties :

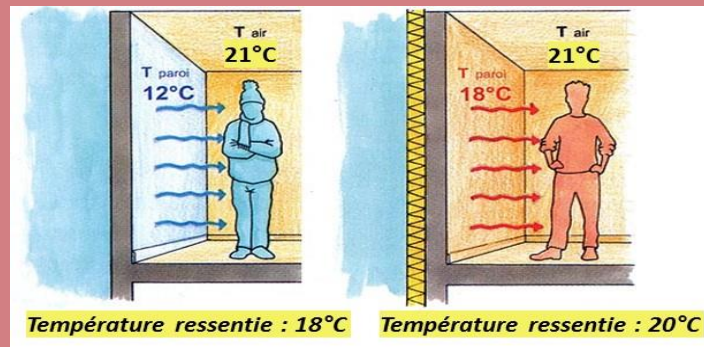
- Les sources principales de déperditions sont :
  - La **ventilation** : la ventilation est indispensable à la qualité d'air et la pérennité du bâtiment. Toutefois, les débits actuels sont largement supérieurs aux standards actuels et signes d'un réseau défaillant.
  - Les **murs** et **ponts thermiques** associés : le niveau d'isolation en façade est médiocre et de nombreux ponts thermiques ne sont pas traités, notamment les planchers intermédiaires et décrochés.
  - Les **menuiseries** : de performance largement insuffisante pour les performances actuelles. A noter que les menuiseries double-vitrage les plus performantes du marché ont une performance équivalente à celle d'un mur non isolé.
  - Les **planchers** et les **toitures** arrivent en dernier.

### 3.2.8 Confort estival

NOTA sur la notion de confort :

La température ressentie est la moyenne entre

- La température des parois et
- La température de l'air








- ⇒ À température d'air égale de 21°C, un local non isolé ou avec d'importants ponts thermiques sera perçu comme inconfortable quand ce même local isolé sera confortable
- ⇒ Chaque degré supplémentaire pour le chauffage d'un bâtiment augmente la facture de chauffage de 7%<sup>4</sup>

Les **occultations** des logements se font par des **rideaux intérieurs**, ce qui s'avère **particulièrement inefficace** pour lutter contre les surchauffes estivales.

À noter que les volets roulants, s'ils ne sont pas à projection ou orientables, sont très occultants et plongent donc les occupants dans le noir. À défaut ils devront rester partiellement ouverts et donc partiellement efficaces.

Les murs en **béton** et les refends apportent une **certaine inertie**.

| Localisation | Apports solaires  | Enveloppe   | Environnement   | Apports internes   | Confort estival   |
|--------------|---|---|---|--|---|
| Etages       |  |  |  |  |  |

<sup>4</sup> Valeur moyenne communément admise – entre 6 et 12% selon installation de chauffage

### 3.3 Systèmes

#### 3.3.1 Chauffage

Le chauffage des bâtiments est assuré par des **radiateurs électriques** plus ou moins récents, remplacés au gré des réfections des logements.

Les derniers d'entre eux sont des **panneaux rayonnants électriques** de la marque Thermor, mais nombre de radiateurs sont encore des **convecteurs** de performance au mieux moyenne.

Globalement, les logements sont équipés de 2 radiateurs d'une puissance totale de **2 750 W**.

À noter qu'aucune différence n'est faite entre les logements, si bien que les logements qui disposent de plus d'une paroi déperditive (ex : aux coins de la barre) doivent se contenter de la même puissance installée que les autres. Cela rend pour certains très difficile la montée en température du logement en plein hiver.

Il n'est de plus **pas possible de programmer** ces radiateurs, si bien qu'**aucune régulation** n'est à priori mise en place dans les logements.

Les communs et autres locaux de stockage ne sont **pas chauffés**.



Panneau rayonnant récent  
Puissance : 2 kW



Convecteur électrique peu performant

#### 3.3.2 Eau Chaude Sanitaire

L'eau chaude est produite par des **chauffe-eau électriques individuels** de 75 litres et de 1,2 à **1,5 kW** de puissance. Ils sont à priori remplacer lors des réfections des logements.



Chauffe-eau électrique récent



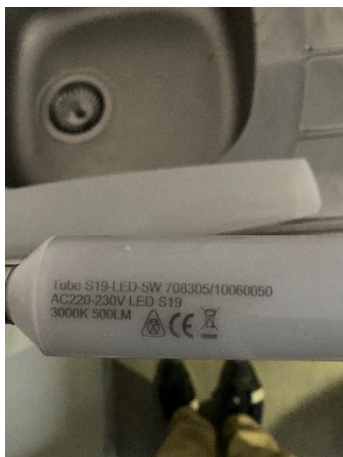
Chauffe-eau électrique ancien

### 3.3.3 Éclairage

Le remplacement de l'éclairage fait partie des actions menées lors de réfections des logements. Presque tous les **logements** sont aujourd'hui en **LED**.

De même, une grande partie des **communs** est d'ores et déjà au **LED**. Seuls quelques éclairages sont encore assurés par des lampes fluos et seront remplacés par des LED lorsqu'ils cesseront de fonctionner.

L'éclairage des **circulations** est assuré par des **LED** avec bouton poussoir **temporisé**. Une lampe sur deux fonctionne dans les circulations afin de réduire les consommations d'électricité.



Tube LED  
Logement bâtiment B



Éclairage circulation

| Localisation       | Type | Ratio puissance<br>en W/m <sup>2</sup> | Régulation         | Performance | Vétusté |
|--------------------|------|--|--------------------|-------------|---------|
| <b>Circulation</b> | LED  | 3 W/m <sup>2</sup>                     | Poussoir temporisé | 😊           | 😊       |
| <b>Chambres</b>    | LED  | 2 W/m <sup>2</sup>                     | Interrupteur       | 😊           | 😊       |

### 3.4 Analyse des factures et des consommations réelles

#### 3.4.1 Consommations énergétiques

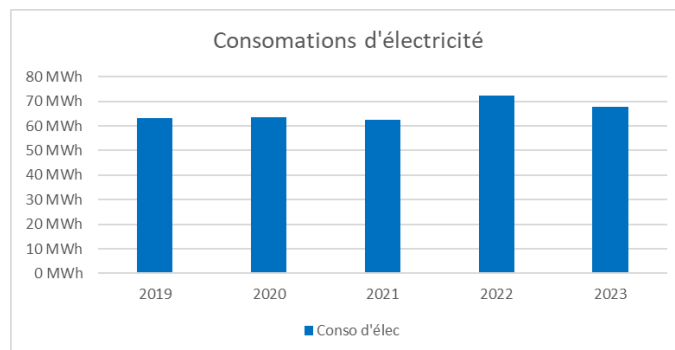
Nous n'avons pas accès aux consommations énergétique des bâtiments de la résidence Jean Paul Sartre. En effet, la consommation électrique de chaque logement est à la charge de l'occupant qui doit établir un **contrat d'électricité individuellement**.

Les consommations ne peuvent pas être extrapolées à partir de locataires types : turnover important des étudiants, logements différents, disparité des moyens financiers et donc du niveau de chauffage, etc...



*Compteur et tableau électrique dans chaque logement*

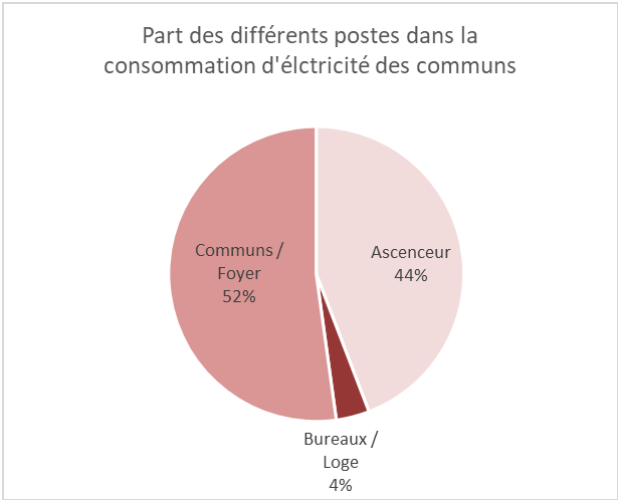
Les consommations d'électricité des communs sur la période 2019-2023 nous ont été transmises par le CROUS de Bourgogne-Franche-Comté.



*Figure 2 : Consommations électriques*

On constate ainsi une consommation moyenne d'environ **65 MWh/an d'électricité** avec une augmentation en 2022-2023.

Par ailleurs, des factures nous ont été transmises par le CROUS et permettent d’affiner l’analyse en évaluant la part des différents postes dans la consommation d’électricité des communs.



Ainsi, sur les factures qui couvrent la période février 2022 – septembre 2024, l’**ascenseur** représente **44%** des consommations d’électricité, les **bureaux / loge** **4%**, et les **communs / foyers** **52%**.

Les consommations des communs (ascenseur, éclairages communs, autres usages,...) ne seront pas pris en compte dans la présente étude qui se concentrera sur les consommations des logements.

3.4.2 Contrats et prix énergie

• Électricité :

Les contrats d’électricité sont à la charge des locataires. Nous ne disposons pas de factures concernant les logements mais nous connaissons les coûts d’électricité pour les communs. Ceux-ci sont passés de **170 à 260 €HT/MWh** entre 2022 et 2023.

Dans la suite du rapport, les prix des énergies seront actualisés ; les hypothèses suivantes sont prises en compte :

|   |                |      |
|---|----------------|------|
| Electricité                                 | 200 €HT/MWh    | 3%   |
| Granulés                                    | 60 €HT/MWh     | 2%   |
| Réseau de chaleur (P1)                      | 50 €HT/MWh     | 2,5% |
| Abonnement RCU                              | 15 000 €TTC/an | 2%   |
| Entretien/maintenance (VMC,...)             | 800 €TTC/an    | 2%   |
| Entretien/maintenance (Chaufferie granulés) | 3 500 €TTC/an  | 2%   |

## 4. Travaux par poste

Les **mesures de rénovation** sont listées et expliquées dans les pages suivantes. À la fin de ce chapitre, un tableau récapitulatif résumera les économies apportées par chacune des solutions.

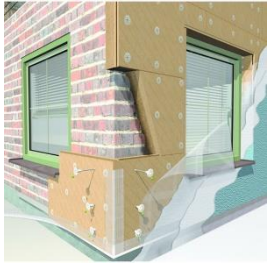

Pour aider le maître d'ouvrage à se projeter à moyen terme, un calcul en **coût global** est réalisé. Il permet de comparer les dépenses totales à moyen/long terme (ici 20 ans). Pour comprendre sa signification, se reporter à l'ANNEXE 2, p47.

### 4.1 Isolation des façades par l'extérieur

Le niveau d'isolation des différentes façades n'est pas à la hauteur des standards actuels. Il sera nécessaire à terme d'augmenter ce niveau d'isolation.

#### **Barre :**

Intervention « classique » par l'extérieur.

- Mise en œuvre d'une **isolation par l'extérieur** sur toutes les façades. Environ 16 cm (selon isolant)  **$R \geq 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$** .
    - Pour l'impact carbone et environnemental, il est pertinent d'envisager un isolant **biosourcé** (type laine de bois). Finition enduit.
- 
- Isolation des **planchers** donnant sur **l'extérieur** (R+2 nord ; R+1 sud)  **$R \geq 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$** .
    - Isolation de type panneaux **fibrastyrène** ou **fibraroc**.
    - **Continuité de l'isolation** entre l'ITE et les planchers sur extérieur.
- 
- Retours isolés des **embrasures de fenêtres** (appuis, tableaux et linteaux) ; 4cm  **$R=1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$** .
    - Point d'attention sur les **fenêtres rondes** (temps de découpe et d'adaptation des panneaux sur les éléments de façade).
    - Dans la mesure où l'isolation se ferait en même temps que le **remplacement des menuiseries**, il est vivement conseillé d'envisager un déplacement des menuiseries au **nu extérieur** de la maçonnerie afin d'assurer une bonne continuité du plan d'isolation. Cela permet d'éviter les ponts thermiques et un retour isolant venant réduire l'accès à la lumière naturelle.
  - Dans la mesure du possible, isolation en **sous face** des différents **décrochés**.
    - Difficultés liées à la **hauteur des fenêtres**. Réduction de l'épaisseur de l'isolant et de l'accès à la lumière naturelle.
    - Penser également à l'isolation du plancher donnant sur l'accès à la porte du garage, dans la mesure du possible.



- Dans la mesure du possible, envisager une **remontée de l'isolant en haut des acrotères** afin de limiter le pont thermique de plancher haut.

### **Tour :**

L'isolation par l'extérieur de la tour est un tout autre sujet. Deux points rendent l'approche sensible :

- Le bâtiment est circulaire. L'isolation devra s'adapter à cette contrainte.
  - Les loggias compliquent techniquement l'isolation et imposent de conserver des ponts thermiques non traités.
- Mise en œuvre d'une **isolation par l'extérieur** sur toutes les façades. Environ 16 cm (selon isolant)  **$R \geq 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$** .
    - Pour l'impact carbone et environnemental, il est pertinent d'envisager un isolant **biosourcé** (type laine de bois). Finition enduit.
    - Attention néanmoins, les avis techniques des isolants biosourcés sont établis pour des hauteurs jusqu'à 28 m. La tour fait elle jusqu'à 33 m.
  - Isolation des **planchers** donnant sur **l'extérieur** ( $R+7$ ;  $R+2$ )  **$R \geq 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$** .
    - Isolation de type panneaux **fibrastyrène** ou **fibraroc**.
    - **Continuité de l'isolation** entre l'ITE et les planchers sur extérieur.



NOTA : La question de la fermeture des loggias peut également être posée. Cela viendrait notamment améliorer la compacité du bâtiment. Néanmoins cela constitue un sujet architectural sensible et de nombreuses considérations techniques et architecturales couteuses devraient d'abord être prises en compte. La solution n'est pas retenue dans la présente étude mais pourrait être creusée davantage en phase projet.



## 4.2 Isolation des planchers bas intérieurs

Les planchers bas sur les locaux non chauffés ne sont à ce jour pas isolés (tour et barre sur LNC) ou pas à la hauteur des standards actuels (garage).

- Isolation en sous face de la dalle  **$R = 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$** .
  - Isolation de type panneaux **fibrastyrène** depuis les locaux non chauffés.
  - Point d'attention sur la gestion des **luminaires** et équipements en plafonds. Prévoir les travaux préparatoires afin de libérer au maximum le support à isoler.



## 4.3 Fermeture cage d'escalier – Tour

Actuellement, la **cage d'escalier** de la tour est ouverte. Celle-ci dégrade fortement la **compacité** du bâtiment en augmentant sa surface déperditive.

Une solution efficace consisterait en la **fermeture** de cette cage d'escalier. Toutefois cela présente un certain nombre de **complexités techniques** qui seront à lever, parmi lesquelles la **contrainte incendie**.

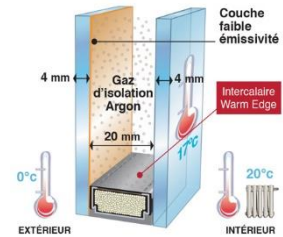
Nous ne sommes pas qualifiés pour prendre en compte cette problématique sécurité incendie mais c'est un sujet **très sensible** qui nécessitera la validation des pompiers et d'un bureau de contrôle.

- Fermeture de la cage d'escalier avec isolation  **$R \geq 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$** .
  - Nature des matériaux et/ou vitrage à définir.
    - Exemple : Mise en place de menuiseries sur les garde-corps existant et isolation de ceux-ci.
  - **Désenfumage** à prévoir, asservi à une détection de fumées (pas de ventilation permanente).
  - Éventuellement **portes coupe-feu** et autres dispositifs imposés par les pompiers.

#### 4.4 Remplacement des menuiseries

Les menuiseries sont vieillissantes et trop peu performantes au regard des standards actuels.

- Remplacement des **menuiseries** par des double vitrages PVC (chiffre ici) – basse émissivité intérieure, intercalaire warmedge,  $U_w \leq 1,3 \text{ W/m}^2.\text{K}$ .
  - D'autres matériaux que le PVC peuvent également être envisagés, pour des questions esthétiques ou environnementales. Le PVC reste toutefois la solution la moins onéreuse.



NOTA : Dans la mesure où l'isolation se ferait en même temps que le **remplacement des menuiseries**, il est vivement conseillé d'envisager un déplacement des menuiseries au **nu extérieur** de la maçonnerie afin d'assurer une bonne continuité du plan d'isolation. Cela permet d'éviter les ponts thermiques et un retour isolant venant réduire l'accès à la lumière naturelle.

- Mise en place de volets roulants pour les chambres et studios.
- Mise en place de screens toiles extérieurs (ou BSO plus onéreux) pour les locaux types bureaux. Traitement solaire pour les baies des communs à occupation passagère (circulations) ou éventuellement système d'occultation architectural fixe.
- Remplacement des **skydomes** de désenfumage qui sont vétustes,  $U_w \leq 1,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$ .
- Pour la barre, remplacement des **portes vitrées** extérieures et des portes intérieures des escaliers,  $U_d \leq 1,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$ .

#### 4.5 Ventilation

La ventilation est un sujet important du bâtiment. Les débits sont trop importants et le réseau est globalement en mauvais état.

La mise en place d'une VMC double-flux permettrait de récupérer 80% des calories via un échangeur thermique. Toutefois la mise en œuvre est complexe, d'autant plus en site occupé. Un cheminement en toiture étant exclu pour des questions de rendement, il serait nécessaire de cheminer en faux plafonds des circulations avec piquage soufflage/reprise dans chacune des chambres/studios. La solution double-flux est écarté.

La solution retenue est la remise en état du réseau actuel.

- Inspection à la **caméra** de l'intégrité des différents conduits.
- **Nettoyage** des portions horizontales et verticales des conduits.
- Remplacement des **réseaux en toiture**.
- Changement **bouches d'extraction** le cas échéant.
- A priori, les **caissons** ayant été récemment remplacés, la question se pose du changement ou non de ceux-ci.
- Mise en place de bouches d'**entrée d'air** (auto ou hygro) aux menuiseries ou achat de menuiseries en conséquence si remplacement de celles-ci.



## 4.6 Changement système de chauffage

Le système de chauffage est un sujet central du bâtiment. La modification du système actuel est à envisager.

### 4.6.1 Réseau de chaleur de Belfort

La ville de Belfort possède un **réseau de chaleur** urbain qui produit de la chaleur à l'est de la ville, au niveau du quartier des Glacis. Le bâtiment est actuellement trop éloigné de ce réseau pour y être raccordé.

Nous avons pris contact avec la ville et le gestionnaire du réseau afin d'évaluer si de potentiels projets d'agrandissement permettraient à la résidence de se raccorder à celui-ci. Le réseau existant n'est pas voué à s'agrandir jusqu'à la résidence.

Cependant, un **projet de nouveau réseau de chaleur** est en cours et la résidence se situe dans la zone de développement de celui-ci. En effet, le réseau longerait la résidence au niveau de la rue Gaston Defferre. Le projet est à priori actuellement en phase de mise en concurrence, avec des travaux qui débuteraient en 2027 pour des premiers **raccordements en 2028-2029**.

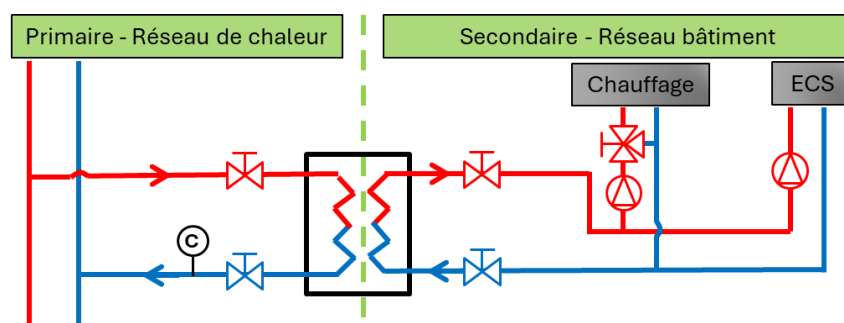
A priori, le CROUS a déjà été approché par la ville de Belfort mais n'a jamais donné suite. Si décision est prise de se raccorder, il est urgent de **se rapprocher de la ville de Belfort** car le projet est déjà avancé.

Le raccordement peut se faire selon 2 possibilités :

- Si le raccordement est prévu au programme **initial**, les travaux seront réalisés jusqu'à la sous-station compris échangeur. Le **coût des travaux** de raccordement sera **intégré au P4** (≈ amortissements/remboursement des investissements) du **coût de la chaleur**.
- Si le raccordement n'est **pas prévu initialement**, les travaux depuis l'antenne la plus proche et jusqu'à l'échangeur seront portés par le CROUS.

Les avantages du réseau de chaleur sont généralement un **coût de la chaleur maîtrisé** et peu volatile ainsi qu'un **contenu carbone plus faible**.

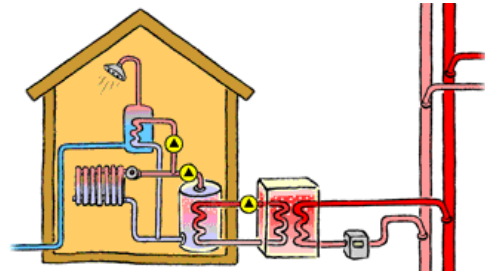
Le raccordement à un RCU est éligible aux CEE.



Création d'une **sous-station** en rez-de-chaussée de la barre au niveau des garages.

La sous-station comprendra :


- Échangeur de chaleur :
  - Transfert la chaleur du réseau primaire au réseau secondaire.
  - Séparation physique entre l'eau du réseau primaire et celle du réseau secondaire.
- Vase d'expansion ou système de maintien de pression.
- Système d'appoint d'eau.
- Compteur d'énergie.
- Pompes départ chauffage.
- Armoire électrique (régulation température sortie échangeur, comptage).
- Accès extérieur, ventilation haute et basse, parois coupe-feu 2h, ...



#### 4.6.2 Chaudière biomasse

Système privilégié en cas de non-raccordement au RCU. L'installation **chaudière à granulés** consomme du combustible renouvelable et est très fiable de nos jours.

Emplacement privilégié à l'angle nord-ouest de la barre dans le garage.

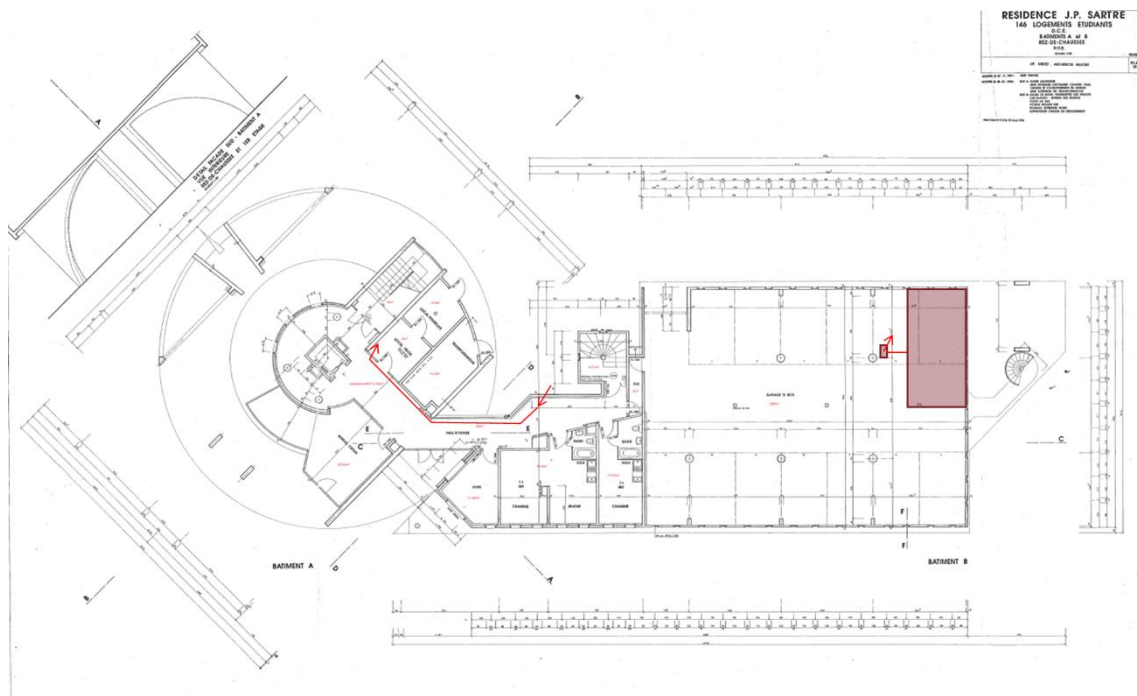
- Création d'un local coupe-feu pour la chaufferie (idem pour la sous-station en cas de raccordement RCU).
- 
- Chaudière à granulés de **300 kW** (puissance sans travaux d'isolation, à adapter en fonction du projet) dans la chaufferie actuelle. Possibilité de passer à une chaudière à plaquette ou bien à 2 chaudières biomasses en cascade pour plus de résilience mais volonté ici de présenter une solution avec moins d'investissements et une facilité de mise en œuvre.
  - Silo de **stockage** à dimensionner en fonction des contraintes sur site et locaux exploitables. Ici nous avons pris en compte l'installation d'un **silo textile** dans le garage de la barre. Le remplissage du silo se fera par soufflage depuis le parking de la résidence.
  - La **cheminée** est un sujet très sensible dans ce cas. La présence de bâtiments hauts à proximité de la chaufferie, notamment la tour, imposent de mettre en place une cheminée **d'au moins 20 mètres** de haut, soit 6 mètres au-dessus du toit de la barre.
    - Les contraintes techniques alourdissent l'investissement et les enjeux d'acceptabilité rendent le projet incertain. De plus, malgré les 20 mètres estimés, il reste toujours un risque de dégager des fumées dans les logements voisins (l'ADEME imposerait d'élever la cheminée 3 mètres au-dessus de la tour).

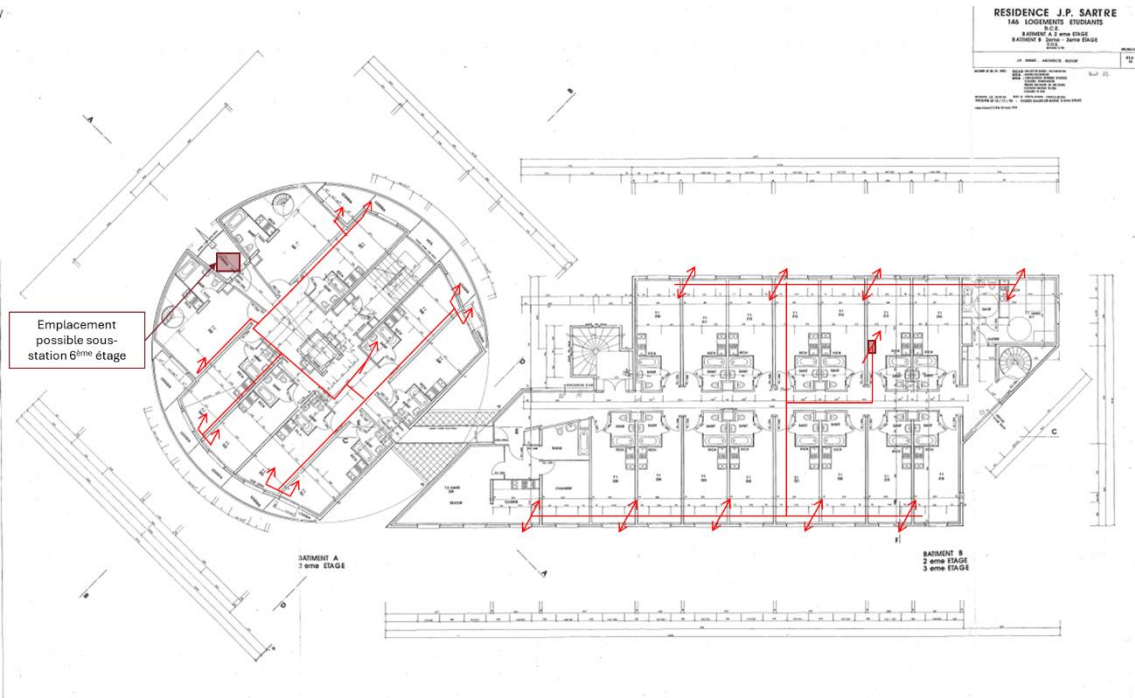
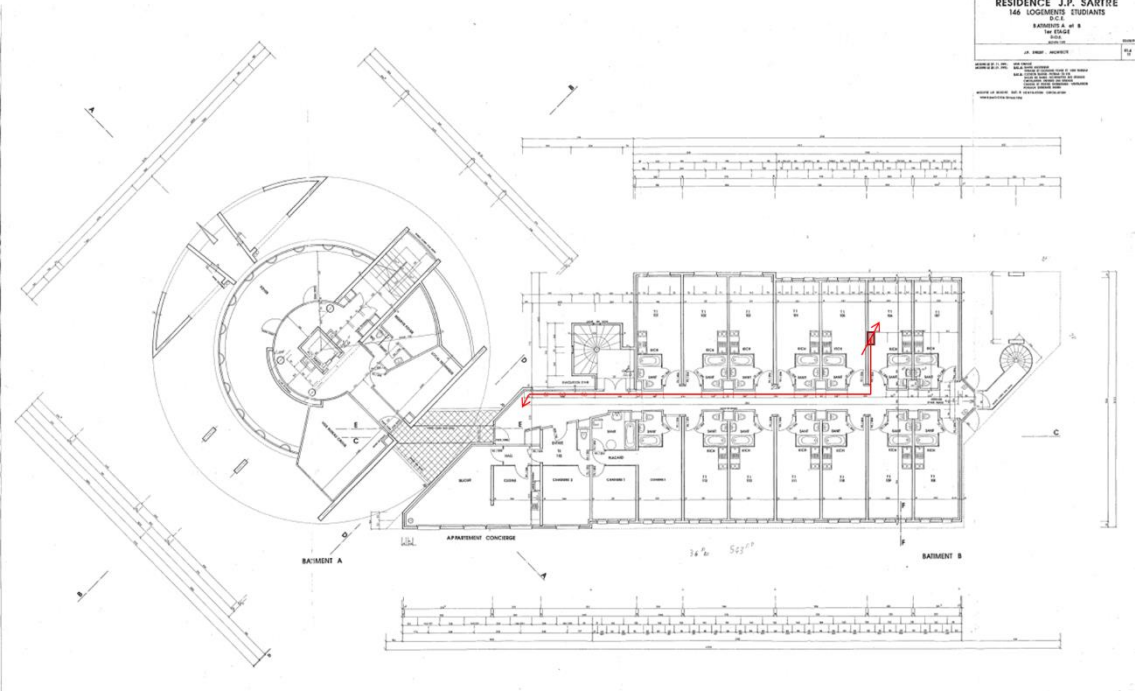
### 4.6.3 Réseau de distribution

Dans tous les cas, la création d'un **réseau de distribution** sera nécessaire car les bâtiments sont actuellement chauffés à l'électricité.

- En sous-station ou chaufferie, mise en place de 2 **ballons tampon** de 3 m<sup>2</sup> (hauteur sous plafond limitée), création de l'**installation hydraulique, électrique et sanitaire**. Mise en place d'une **régulation**.
- Suppression des **radiateurs électriques** des logements. Conservation ou non des radiateurs dans les salles de bains.
  - Les radiateurs électriques étant relativement neufs, ils pourront être réutilisés au sein du parc immobilier du CROUS ou alimenter le circuit du réemploi plus généralement.
- Création d'un réseau de distribution bitube qui délivrera la chaleur à la barre et à la tour.
  - Création de coffrages et gaines techniques. Empiètement dans un des logements afin de passer les réseaux.
- Création d'une petite **sous-station** à mi-hauteur de la tour afin d'assurer une livraison de la chaleur avec des débits acceptables au dixième étage et donc d'équilibrer le réseau.

Au stade audit, le chiffrage est rendu difficile par la complexité du réseau à créer.







## 4.7 Améliorations non retenues

### • Photovoltaïque et autoconsommation :

Aucune analyse rapide du potentiel photovoltaïque n'a été réalisée sur le bâtiment, en accord avec le CROUS. Le bâtiment dispose actuellement de 5 points de livraison pour les communs et les courbes de charges n'ont pas pu être obtenues.

A priori, aucune réflexion n'a encore été menée autour de la mise en place de panneaux photovoltaïque sur les toitures du CROUS. Les **toitures terrasses** de la résidence Sartre pourraient rendre pertinent la mise en place de panneaux photovoltaïque. Les panneaux d'isolant mis en place lors de la rénovation des toitures en 2016 vont dans ce sens puisque ces panneaux ont une **classe de compressibilité C**, ce qui est compatible pour recevoir l'installation de panneaux PV. De plus, la présence de l'**ascenseur** présente un avantage car celui-ci représente un talon de consommation d'électricité sur l'ensemble de l'année, avec environ **25 MWh** de consommation annuelle.

Cependant, si la toiture est a priori compatible (sous réserve de validation de sa capacité structurelle), le complexe PV mis en place devra être étudié plus finement. En effet, un système par **thermo-soudage des plots** sera probablement proscrit car il nécessiterait une intervention sur la membrane d'étanchéité trop longtemps après les travaux (2016). Un système de **dômes lestés** pourrait être plus pertinent. Un autre point d'attention réside dans le **masque** provoqué par la tour sur la barre, cette tour est directement au sud de la barre.

Planair dispose d'un pôle spécialisé dans ce sujet et peut vous accompagner.

### • Eau chaude sanitaire :

Au stade audit, il a été considéré que les chauffe-eaux électriques seraient conservés. Plusieurs options qui présentent des contraintes techniques et économiques radicalement différentes peuvent être envisagées. Il conviendra au lancement du projet d'orienter la production d'ECS vers l'une de ces options :

- Raccordement à la production de chaleur :
  - Dépose des chauffe-eaux électriques.
  - Création d'un réseau de bouclage depuis la chaufferie / sous-station.
  - Le réseau de chaleur prochainement construit pourra être en fonctionnement continu assurant la production d'ECS toute l'année, ou sera en fonctionnement uniquement en saison de chauffe. Dans ce cas, il sera nécessaire de mettre en place dans la sous-station une production d'ECS en appoint lors de l'arrêt du RCU en saison estivale ou de conserver les chauffe-eaux individuels.

- Préchauffage solaire :
  - Mise en place de panneaux solaires thermiques pour le préchauffage ECS.
  - Installation d'un ballon tampon de 3 m<sup>3</sup> en chaufferie / sous-station. L'eau glycolée circulera entre les panneaux et la chaufferie.
  - L'eau en entrée des ballons ECS raccordés au ballon tampon sera préchauffée et l'appoint sera délivré par l'électricité. En été, l'eau sera largement préchauffée.
  
- Préchauffage PAC en toiture :
  - Mise en place de pompes à chaleur en toiture raccordés sur l'extraction d'air.
  - Installation d'un ballon tampon de plus petit volume (préchauffage en continue) en chaufferie / sous-station. L'eau glycolée circulera entre les PACs et la chaufferie.
  - Mise en place de bouches d'extractions autoréglables afin de profiter de débits constants (solution hygroréglable également possible).
  - L'eau en entrée des ballons ECS sera préchauffée par la PAC sur air extrait et l'appoint sera délivré par l'électricité.

NOTA : Le préchauffage ECS est autorisé en logements, contrairement aux établissements de santés, établissements pour personnes âgées,...



## 4.8 Synthèse des préconisations

Les différentes améliorations évoquées ci-avant sont récapitulées sous forme de graphiques en coût global (Figure 3 ci-après).

Ainsi on constate que :

- Le travail sur la **ventilation** est très pertinent d'un point de vue économique, en plus de son intérêt pour le confort et la pérennité des bâtiments.
- Côté enveloppe, les préconisations atteignent plus difficilement une rentabilité. De part son plus faible coût que les autres, la fermeture de **l'escalier** apparaît plutôt intéressante. Le remplacement des **menuiseries** ainsi que **l'isolation** par l'extérieur des bâtiments ne se révèlent pas rentables au vu du coût des travaux.

Une explication à cette difficulté d'atteindre une rentabilité réside dans le fait que les **aides mobilisables** sont faibles au regard de l'investissement. Nous n'avons pris en compte dans notre chiffrage que la valorisation des CEE. À priori, le CROUS ne dispose pas de moyen de financement identifié et qui viendrait rehausser les courbes de la figure ci-dessous.

- Le remplacement du **système de chauffage** est primordial. Malgré le coût de la création du réseau de distribution, les préconisations raccordement au futur RCU et création d'une chaufferie biomasse ont un temps de retour sur investissement de 16 à 17 ans.

Selon nous, il est nécessaire de se **raccorder au RCU** dont les travaux vont commencer prochainement. Les contraintes techniques et d'acceptation d'une chaufferie dédiée (cheminée, livraison,...) rendent la solution RCU particulièrement pertinente, d'autant que le réseau prévu longera les bâtiments. Le CROUS devra se rapprocher rapidement de la ville de Belfort.

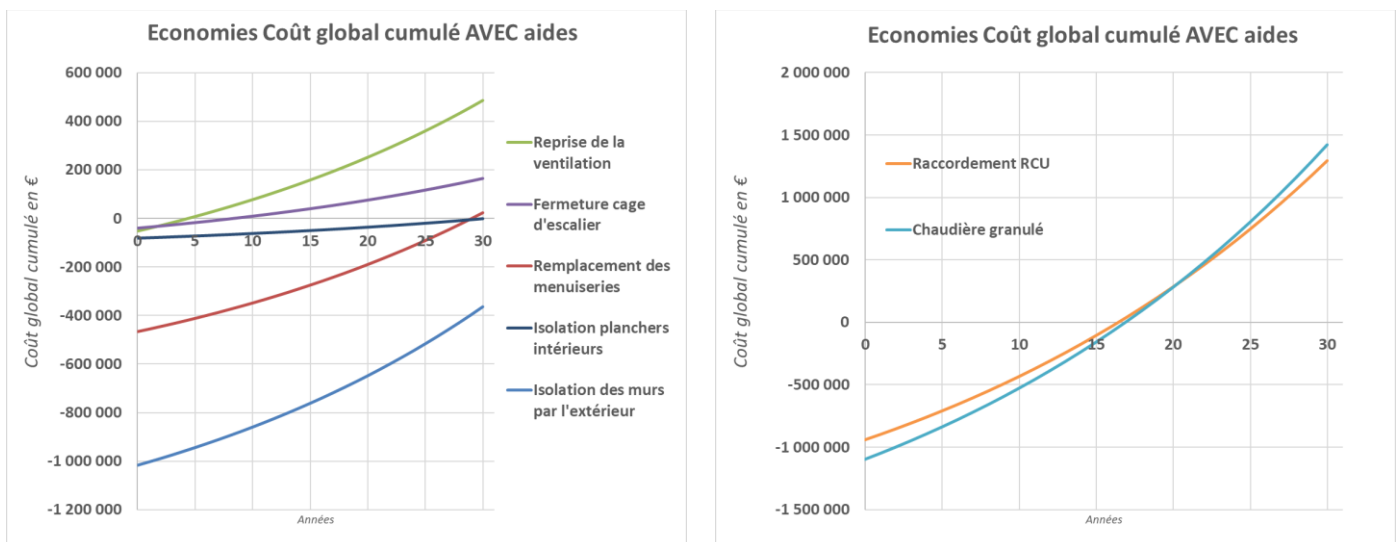


Figure 3 : Comparaison en coût global cumulé des économies des différentes préconisations - l'investissement initial est négatif (c'est une charge), puis les économies chaque année viennent compenser cet investissement. Le croisement de l'axe 0 donne le temps de retour de l'amélioration comparée à la situation existante ; plus la courbe monte haut, plus les économies sont importantes

## Synthèse améliorations

| Amélioration                       | Conso<br>[Mwhef/an] |      | Ratio<br>Conso<br>[kwhef/m².an] | Emission CO2<br>[tCO2eq] |      | Coût des travaux [€TTC]<br><i>Sans aides    Avec aides</i> |                    | Détail aides<br>mobilisables<br><br>CEE | Facture énergétique 5 usages<br>[€TTC] |           | Temps de retour avec aides<br><br>Sans aides    Avec aides |         |
|------------------------------------|---------------------|------|---------------------------------|--------------------------|------|--|--------------------|---|--|-----------|--|---------|
|                                    |                     |      |                                 |                          |      |  |                    |   |  |           |  |         |
| Existant                           | 492                 |      | 159                             | 37                       |      |  |                    |   | 118 940 €                              |           |  |         |
| Isolation des murs par l'extérieur | 435                 | -12% | 141                             | 32                       | -12% | 1 038 800 €  | <b>1 015 300 €</b> | 23 500 €                                | 105 260 €                              | -13 680 € | >30 ans  | >30 ans |
| Remplacement des menuiseries       | 449                 | -9%  | 145                             | 33                       | -9%  | 480 000 €  | <b>466 700 €</b>   | 13 300 €                                | 108 620 €                              | -10 320 € | 30 ans   | 29 ans  |
| Reprise de la ventilation          | 445                 | -10% | 144                             | 33                       | -10% | 52 200 €   | <b>52 200 €</b>    | -                                       | 107 660 €                              | -11 280 € | 4 ans  | 4 ans   |
| Fermeture cage d'escalier          | 474                 | -4%  | 153                             | 35                       | -4%  | 40 400 €   | <b>40 400 €</b>    | -                                       | 114 620 €                              | -4 320 €  | 8 ans  | 8 ans   |
| Chaudière granulé                  | 611                 | +24% | 198                             | 24                       | -35% | 1 110 100 €  | <b>1 095 000 €</b> | 15 100 €                                | 70 780 €                               | -48 160 € | 17 ans   | 17 ans  |
| Raccordement RCU                   | 582                 | +18% | 188                             | 31                       | -14% | 938 800 €  | <b>938 800 €</b>   | -                                       | 75 990 €                               | -42 950 € | 16 ans   | 16 ans  |
| Isolation planchers intérieurs     | 485                 | -1%  | 157                             | 36                       | -2%  | 84 000 €   | <b>80 900 €</b>    | 3 100 €                                 | 117 260 €                              | -1 680 €  | >30 ans  | 30 ans  |

Tableau 1 : récapitulatif des préconisations élémentaires

## 5. Scénario de travaux

Les améliorations élémentaires présentées ci-avant peuvent être assemblées afin de construire un **scénario de travaux cohérent**.

Dans le cas du présent projet, la volonté de la maîtrise d'ouvrage d'entamer un projet de rénovation globale rend la création de différents scénarios moins pertinente. Nous avons malgré cela décidé de créer un premier scénario, **a minima**, qui comprend le raccordement au RCU et la reprise complète de la ventilation.

Ce scénario permet d'atteindre la **rentabilité économique** à horizon **17 ans**, la part raccordement au RCU étant majoritaire dans le coût total du scénario.

Un **second scénario** est proposé. Celui-ci apparaît plus pertinent car il présente une rénovation globale du bâtiment, hors toiture. En plus du scénario a minima, l'isolation thermique par l'extérieur, l'isolation des planchers bas, la fermeture des escaliers de la tour, et le remplacement des menuiseries sont envisagés.

Ce scénario ne présente pas de rentabilité économique. En effet, les investissements sont très élevés et empêchent de trouver une bonne rentabilité. Cependant, il serait réducteur de ne prendre en compte que l'aspect économique. D'abord, car une part importante de l'investissement est portée par la création du réseau de distribution. Ensuite, car seule une rénovation d'ampleur permettra de **pérenniser les bâtiments**. Un tel investissement est nécessaire pour le **confort des usagés**, très dégradé actuellement, mais aussi pour traiter la **vétusté** des bâtiments.

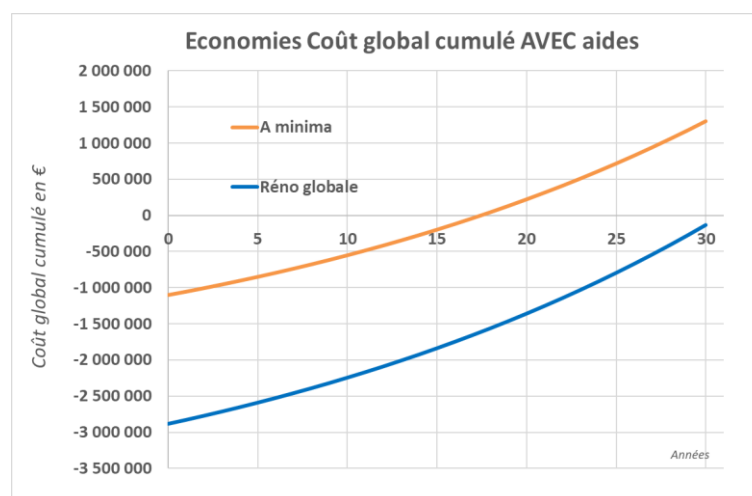


Figure 4 : Comparaison des scénarii en coût global cumulé – à l'investissement initial viennent s'ajouter les dépenses énergétiques du bâtiment ; des dépenses énergétiques faibles se traduisent par une courbe plutôt plate ; plus la courbe monte haut, plus elle coûte cher sur le long terme

| Sartre Belfort   |           | Existant / Coût travaux [€TTC] | A minima           | Réno globale       |
|--|-----------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| Isolation des murs par l'extérieur                     |           | 1 038 840 €                    |                    | ✓                  |
| Remplacement des menuiseries                           |           | 480 000 €                      |                    | ✓                  |
| Reprise de la ventilation                              |           | 52 200 €                       | ✓                  | ✓                  |
| Fermeture cage d'escalier                              |           | 40 440 €                       |                    | ✓                  |
| Chaudière granulé                                      |           | 1 110 120 €                    |                    |                    |
| Raccordement RCU                                       |           | 938 760 €                      | ✓                  | ✓                  |
| Isolation planchers intérieurs                         |           | 84 000 €                       |                    | ✓                  |
| Honoraires maîtrise d'Œuvre [€TTC]                     |           |                                | 109 000 €          | 289 800 €          |
| <b>Coût travaux, compris honoraires [€TTC]</b>         |           | -                              | 1 100 000 €        | 2 924 000 €        |
| <b>Coûts d'exploitation [€TTC]</b>                     |           | 118 940 €                      | 72 030 €           | 64 120 €           |
| Dépenses énergétiques [€TTC]                           |           | 118 140 €                      | 56 200 €           | 48 290 €           |
| Abonnements [€TTC]                                     |           | 0 €                            | 15 030 €           | 15 030 €           |
| Entretien/maintenance [€TTC]                           |           | 800 €                          | 800 €              | 800 €              |
| <b>Aides</b>   | Aides CEE | -                              | 0 €                | 39 900 €           |
| <b>TOTAL reste à charge après aides [€TTC]</b>         |           | -                              | <b>1 099 966 €</b> | <b>2 884 106 €</b> |
| Temps de retour après aides                            |           | -                              | 17 ans             | >30 ans            |
| <b>Cef [MWh/an]</b>                                    |           | <b>492</b>                     | <b>507</b>         | <b>357</b>         |
| <b>Ratio Cef [kWh/m².an]</b>                           |           | <b>159</b>                     | <b>164</b>         | <b>116</b>         |
| Gain Cef ini   |           | -                              | 3%                 | -27%               |
| Emission de CO2 [T/an]                                 |           | 37                             | 28                 | 20                 |
| Classe Energie   |           | C                              | D                  | C                  |
| Classe Carbone   |           | B                              | B                  | A                  |
| Cep [kWh <sub>ep</sub> /m².an]                         |           | 369,9                          | 226,3              | 197,9              |
| Gain Cep ini   |           | -                              | -39%               | -47%               |
| Cible BBC Effilogis<br>Sous réserve respect garde-fous |           | x                              | x                  | x                  |
| Besoins de chauffage [kW]                              |           | 300                            | 260                | 170                |

Tableau 2 : Récapitulatif des scenarii de travaux

\* Bien que le gain Cep (consommation conventionnelle d'énergie primaire) ini soit important, le niveau atteint n'est pas satisfaisant pour certains financeurs. Par exemple, la cible BBC Effilogis de la région BFC (CROUS non concerné) est à 104 kWh<sub>ep</sub>/m².an quand la rénovation globale atteint près de 200 kWh<sub>ep</sub>/m².an. La raison de cet écart tient uniquement à la production d'ECS que l'on a considérée maintenue à l'électricité. De ce fait, le Cep de l'ECS compte à lui seul pour près de 150 kWh<sub>ep</sub>/m².an. La réflexion sur la production d'ECS sera d'autant plus nécessaire que le CROUS fera appel à des financeurs avec des cahiers de charges comprenant une cible Cep.

## 6. Synthèse – Mise à jour de l'audit

### 6.1 Remplacement des menuiseries – Version bois/alu

La préconisation 4.4 est reprise à l'identique à l'exception du matériau pris en compte dans le chiffrage. L'objectif est de chiffrer le surcoût d'une **solution bois/alu** par rapport à la solution PVC initialement prise en compte.

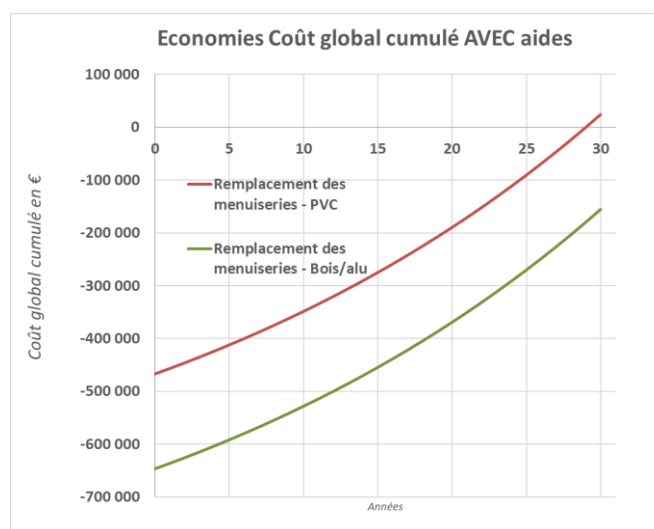


Figure 5 : Comparaison des scénarii en coût global cumulé – PVC vs bois/alu

Le surcoût de la prise en compte du bois/alu est de l'ordre de **180 000 €TTC**.

### 6.2 Traitement des ponts thermiques de dalle intermédiaire des loggias

Lors de la restitution finale de l'audit, une question de l'AMO a porté sur le traitement des **ponts thermiques de dalle intermédiaire des loggias**.

En effet, l'isolation par l'extérieur des parois extérieures de la tour impose le maintien de ces ponts thermiques car le manchonnage des dalles intermédiaires serait particulièrement complexe et coûteux.

Il a cependant été demandé d'évaluer l'impact énergétique du traitement de ces ponts thermiques. Puisque qu'il n'est pas envisageable d'uniquement traiter ces ponts thermiques, nous considérons cette action dans le cadre d'une isolation thermique par l'extérieur.

| Synthèse améliorations             |                     |      |                                 |                          |      |
|------------------------------------|---------------------|------|---------------------------------|--------------------------|------|
| Amélioration                       | Conso<br>[Mwhef/an] |      | Ratio<br>Conso<br>[kwhef/m².an] | Emission CO2<br>[tCO2eq] |      |
| Existant                           | 492                 |      | 159                             | 37                       |      |
| Isolation des murs par l'extérieur | 435                 | -12% | 141                             | 32                       | -12% |
| ITE + Traitement L9 loggias        | 424                 | -14% | 137                             | 31                       | -15% |

L'impact de ce traitement est **non négligeable**. En effet, la réduction des consommations énergétiques est significative, d'autant que ce traitement correspond à seulement une partie des ponts thermiques d'un seul des deux bâtiments.

Cependant, nous rappelons que la manière la plus courante de réaliser le manchonnage passe par la réalisation d'une dalle sur plots. Il faut donc considérer les plots, l'isolant, et la dalle. Cela génère de trop nombreux travaux induits et la faisabilité technique n'est pas garantie. Le traitement de ces ponts thermiques ne semble pas pertinent.

### 6.3 Fermeture des loggias

Dans le cadre de la rénovation des bâtiments de la résidence, seule l'isolation par l'extérieur avait été envisagée pour l'audit. En effet, la **fermeture des loggias**, bien qu'améliorant la compacité du bâtiment et traitant les ponts thermiques de dalle intermédiaire, constituait un enjeu architectural sensible et nécessitait de considérer des sujets techniques coûteux.

Lors du rendu final de l'audit, un intérêt a été porté sur ce sujet de fermeture des loggias et il a été demandé d'évaluer **l'impact énergétique** de cette fermeture. Dans ce cadre, l'AMO a proposé la solution technique suivante :

- Isolation des garde-corps existants ( $R = 5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) – hypothèse 1m de haut et 14cm de béton plein pour l'existant.
- Mise en place de menuiseries mixte bois/alu avec VR ( $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

| Synthèse améliorations |                     |     |  |                          |     |
|------------------------|---------------------|-----|--|--------------------------|-----|
| Amélioration           | Conso<br>[Mwhef/an] |     | Ratio<br>Conso<br>[kwhef/m <sup>2</sup> .an] | Emission CO2<br>[tCO2eq] |     |
| Existant               | 492                 |     | 159  | 37                       |     |
| Fermeture loggias      | 460                 | -7% | 149  | 34                       | -7% |

L'amélioration prise en compte ici consiste uniquement en la fermeture des loggias. Cette amélioration est comparée à l'état existant.

Ainsi, la fermeture des loggias représente un **gain de 7% des consommations** sur l'ensemble des bâtiments. Si l'on regarde uniquement la tour, cela représente un gain de plus de 15%, ce qui est **significatif**.



MAJ V04 :

Pour modéliser la version de l'amélioration proposée ci-dessus, nous avons considéré les loggias comme des **espaces tampons**. De ce fait, nous avons calculé et appliqué un coefficient  $b^1$  aux parois existantes auquel nous avons appliqué un coefficient de correction pour simuler le fait que ces espaces seraient probablement également occupés occasionnellement et que les apports solaires seraient importants de par la surface vitrée créée.

Pour donner suite à la question de l'AMO qui demandait l'impact de la prise en compte de la **suppression des murs extérieurs existants** et donc de l'**agrandissement des surfaces** des logements, nous avons cette fois-ci modélisé concrètement les nouvelles parois extérieures de la tour.

Les conclusions sont donc celles-ci :

| Synthèse améliorations                          |                     |     |  |                          |     |
|---|---------------------|-----|--|--------------------------|-----|
| Amélioration                                    | Conso<br>[Mwhef/an] |     | Ratio<br>Conso<br>[kwhef/m <sup>2</sup> .an] | Emission CO2<br>[tCO2eq] |     |
| Existant  | 492                 |     | 159  | 37                       |     |
| Fermeture loggias<br>(agrandissement logements) | 470                 | -4% | 138  | 35                       | -5% |

Avec la prise ne compte d'un coefficient de correction, le cas « espace tampon » était en réalité proche de la solution présentée ici, bien que plus « optimiste ». Cependant, dans le premier cas, nous n'avions pas pris en compte l'augmentation des surfaces des logements. Bien que la consommation globale soit sensiblement identique, la consommation par m<sup>2</sup> est, elle, plus significativement inférieure au cas « espace tampon ».

Le gain estimé pour la fermeture des loggias avec agrandissement des surfaces des logements est de **4% de la consommation globale** et 13% de la consommation par m<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Coefficient de réduction représentatif du fait que la paroi donne sur un local non chauffé jouant le rôle de tampon, diminuant les déperditions ; valeur comprise entre 0 (pas de déperditions) et 1 (température extérieure).

D'autres résultats sont attendus. Ils concernent l'impact de l'isolation par bâtiment sur la consommation globale du site.

| Synthèse améliorations          |                     |     |                                 |                          |      |
|---------------------------------|---------------------|-----|---------------------------------|--------------------------|------|
| Amélioration                    | Conso<br>[Mwhef/an] |     | Ratio<br>Conso<br>[kwhef/m².an] | Emission CO2<br>[tCO2eq] |      |
| Existant                        | 492                 |     | 159                             | 37                       |      |
| ITE tour sans fermeture loggias | 462                 | -6% | 150                             | 34                       | -6%  |
| ITE tour avec fermeture loggias | 447                 | -9% | 131                             | 33                       | -10% |
| ITE barre                       | 465                 | -5% | 151                             | 34                       | -6%  |

En conclusion, nous obtenons :

- ITE tour au niveau des murs extérieurs existants sans fermeture des loggias : **-6% sur la conso globale.**
- ITE tour avec fermeture des loggias : **-9% sur la conso globale.**
- ITE barre : **-5% sur la conso globale.**

## 6.4 Approche 3CL DPE

Pour finir, il a été demandé de présenter les scénarios de travaux selon une approche 3CL DPE. Pour cela, nous avons procédé au calcul selon la méthode de calcul 3CL 2021.

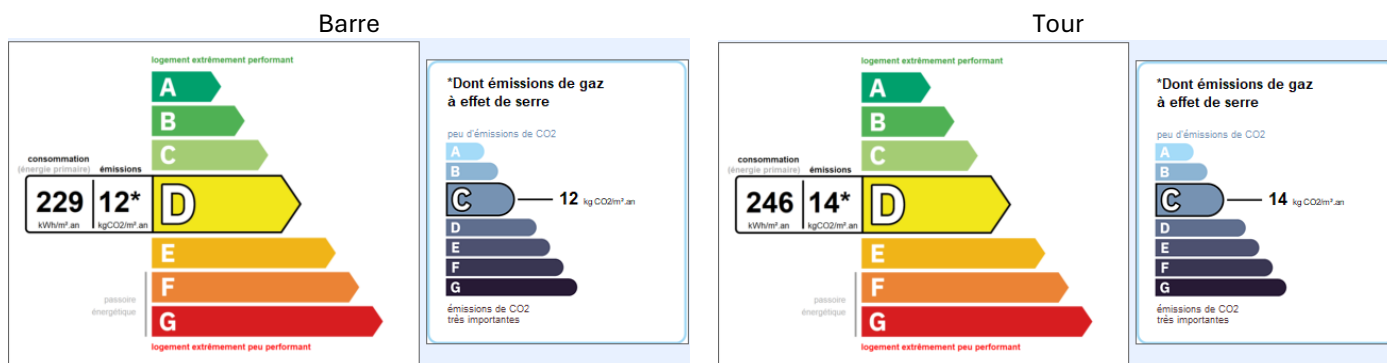
Pour rappel, voici le tableau de synthèse des différents scénarios :

| Sartre Belfort   |           | Existant / Coût travaux [€TTC] | A minima           | Réno globale       |
|--|-----------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| Isolation des murs par l'extérieur                     |           | 1 038 840 €                    |                    | ✓                  |
| Remplacement des menuiseries                           |           | 480 000 €                      |                    | ✓                  |
| Reprise de la ventilation                              |           | 52 200 €                       | ✓                  | ✓                  |
| Fermeture cage d'escalier                              |           | 40 440 €                       |                    | ✓                  |
| Chaudière granulé                                      |           | 1 110 120 €                    |                    |                    |
| Raccordement RCU                                       |           | 938 760 €                      | ✓                  | ✓                  |
| Isolation planchers intérieurs                         |           | 84 000 €                       |                    | ✓                  |
| Honoraires maîtrise d'Œuvre [€TTC]                     |           |                                | 109 000 €          | 289 800 €          |
| <b>Coût travaux, compris honoraires [€TTC]</b>         |           | -                              | 1 100 000 €        | 2 924 000 €        |
| <b>Coûts d'exploitation [€TTC]</b>                     |           | 118 940 €                      | 72 030 €           | 64 120 €           |
| Dépenses énergétiques [€TTC]                           |           | 118 140 €                      | 56 200 €           | 48 290 €           |
| Abonnements [€TTC]                                     |           | 0 €                            | 15 030 €           | 15 030 €           |
| Entretien/maintenance [€TTC]                           |           | 800 €                          | 800 €              | 800 €              |
| <b>Aides</b>   | Aides CEE | -                              | 0 €                | 39 900 €           |
| <b>TOTAL reste à charge après aides [€TTC]</b>         |           | -                              | <b>1 099 966 €</b> | <b>2 884 106 €</b> |
| Temps de retour après aides                            |           | -                              | 17 ans             | >30 ans            |
| Cef [MWh/an]   |           | <b>492</b>                     | <b>507</b>         | <b>357</b>         |
| Ratio Cef [kWh/m <sup>2</sup> .an]                     |           | <b>159</b>                     | <b>164</b>         | <b>116</b>         |
| Gain Cef ini   |           | -                              | 3%                 | -27%               |
| Emission de CO <sub>2</sub> [T/an]                     |           | 37                             | 28                 | 20                 |
| Classe Energie   |           | C                              | D                  | C                  |
| Classe Carbone   |           | B                              | B                  | A                  |
| Cep [kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .an]            |           | 369,9                          | 226,3              | 197,9              |
| Gain Cep ini   |           | -                              | -39%               | -47%               |
| Cible BBC Effilogis<br>Sous réserve respect garde-fous |           | ✗                              | ✗                  | ✗                  |
| Besoins de chauffage [kW]                              |           | 300                            | 260                | 170                |

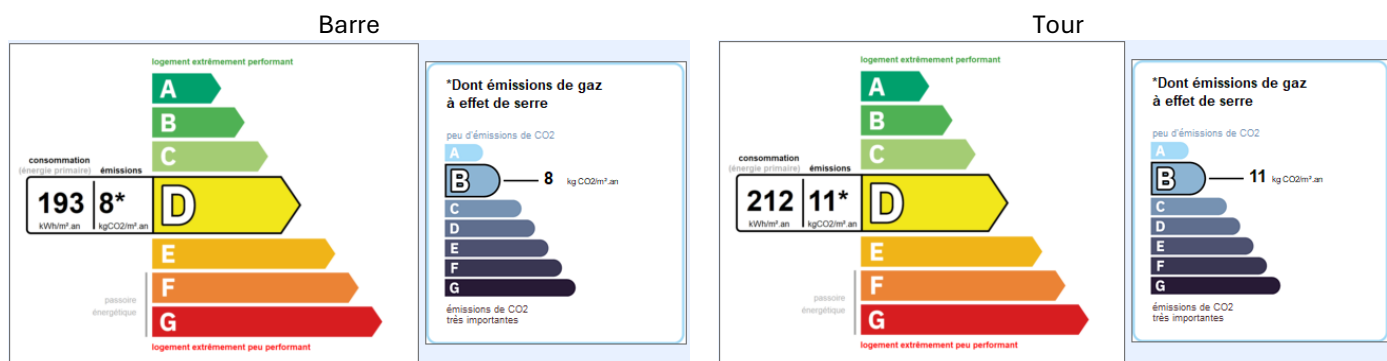
\* Le Cep indiqué dans le tableau correspond au Cep réglementaire et non au Cep de la méthode 3CL.

Voici les étiquettes obtenues selon la méthode 3CL :

Scénario A minima :



Scénario Rénovation globale :



Comme pressenti dans l'analyse des scénarios (5 p.35), malgré les rénovations ambitieuses proposées ici, les étiquettes obtenues ne semblent pas à la hauteur. En effet, l'impact de la production d'ECS maintenue à l'électricité explique à elle seule le niveau élevé du Cep. En moyenne globale sur les deux bâtiments et pour le scénario le plus ambitieux, la production d'ECS représente 136 kWh.EP/m².an sur les 203 kWh.EP/m².an au total. La réflexion sur la production d'ECS sera d'autant plus nécessaire que le CROUS fera appel à des financeurs avec des cahiers de charges comprenant une cible Cep.

## 7. Conclusion

Le **CROUS de Bourgogne-Franche-Comté** souhaite lancer un projet de **rénovation énergétique** sur une partie de son parc immobilier.

Les bâtiments A et B de la **résidence Jean Paul Sartre** de Belfort font partie des bâtiments dont la rénovation est d'ores et déjà actée. Ces bâtiments ont été construits au début des années 1990' accueillent **143 logements étudiants**. Le premier bâtiment est une **tour circulaire** qui s'élève sur **11 étages**. Le second est une **barre** qui s'élève sur **4 étages**.

L'ensemble est chauffé par des **radiateurs électriques individuels**. L'ECS est également produite en décentralisée par des chauffe-eaux électriques individuels.

Les bâtiments disposent globalement d'une première couche d'isolation qui se révèle néanmoins largement insuffisante aujourd'hui.

Les usagers souffrent été comme hiver de problématiques de **confort**, et le bâtiment est relativement vétuste par endroit par manque de chauffage et défaillance du réseau de ventilation.

Le présent rapport propose différents **travaux d'améliorations énergétiques**, combinés dans deux **scénarios** de rénovation énergétique. Comparé à un scénario à minima, la rénovation globale du bâtiment n'atteint **pas de rentabilité**. Il est cependant **largement privilégié** car il traitera l'ensemble des enjeux de confort et de vétusté des bâtiments et permettra ainsi de pérenniser ces bâtiments et d'accueillir au mieux les étudiants.

Auteur **Roméo Constant**, Ingénieur thermicien

Superviseur **Florian Vautier**, Responsable de projets bâtiments durables

PLANAIR FRANCE SAS ; RCT ; Besançon, 19 mai 2025

## TABLE DES TABLEAUX

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1 : récapitulatif des préconisations élémentaires ..... | 34 |
| Tableau 2 : Récapitulatif des scenarii de travaux .....         | 36 |

## TABLE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Bilan déperdition enveloppes – intègre la performance intrinsèque des parois et leur surface .....   | 17 |
| Figure 2 : Consommations électriques .....  | 21 |
| Figure 3 : Comparaison en coût global cumulé des économies des différentes préconisations - l'investissement initial est négatif (c'est une charge), puis les économies chaque année viennent compenser cet investissement. Le croisement de l'axe 0 donne le temps de retour de l'amélioration comparée à la situation existante ; plus la courbe monte haut, plus les économies sont importantes..... | 33 |
| Figure 4 : Comparaison des scenarii en coût global cumulé – à l'investissement initial viennent s'ajouter les dépenses énergétiques du bâtiment ; des dépenses énergétiques faibles se traduisent par une courbe plutôt plate ; plus la courbe monte haut, plus elle coûte cher sur le long terme .....   | 35 |
| Figure 5 : Comparaison des scenarii en coût global cumulé – PVC vs bois/alu .....   | 37 |
| Figure 6 : Exemple de plan utilisé : Plan rez-de-chaussée .....   | 48 |



## ANNEXE 1. GLOSSAIRE

### Rappel sur les unités et définitions :

- **Cep [kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.an]** : Consommation annuelle conventionnelle 5 usages d'énergie primaire par m<sup>2</sup> de SHON RT, selon méthode de calcul réglementaire.
- **Créf [kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.an]** : Consommation de référence du bâtiment, selon méthode de calcul réglementaire. Le bâtiment est modélisé avec un niveau d'isolation moyen et des systèmes énergétiques standards. Pour atteindre les labels sur les bâtiments tertiaires, il est nécessaire que la consommation Cep du bâtiment soit inférieur de 40% à cette valeur de référence.
- **Cef [MWh<sub>ef</sub>.an]** : Consommation énergie finale « réelle » ; ce sont les MWh totaux consommés par le bâtiment.
- **DJU : Degrés jour unifiés**. Ce paramètre permet de caractériser la sévérité du climat : plus les DJU sont élevés, plus les températures durant la période étudiée ont été basses.
- **ECS : Eau Chaude Sanitaire**.
- **Énergie primaire** : Une source d'énergie primaire est une forme d'énergie disponible dans la nature avant toute transformation : par exemple le charbon, l'uranium utilisé dans les centrales nucléaires, ou encore le vent sont considérés comme des sources d'énergie primaire.
- L'énergie primaire (ep) n'est pas toujours directement utilisable et fait donc souvent l'objet de transformations (stockage, transport) avant de pouvoir être utilisable sous forme d'énergie finale (ef). Un coefficient de transformation (ep/ef) est donc utilisé :

| Electricité | Bois | Autre (gaz, fioul...) |
|-------------|------|-----------------------|
| 2,58        | 0,6  | 1                     |

- **Énergie finale** : Ce terme désigne l'ensemble des énergies se situant en fin de chaîne de transformation (cf. énergie primaire).
- **GES : Gaz à effet de serre**.
- **ITE** : Dans le cas d'une **Isolation Thermique par l'Extérieur**, l'isolant est situé côté extérieur par rapport au mur porteur.
- **ITI** : Dans le cas d'une **Isolation Thermique par l'Intérieure**, l'isolant est situé côté intérieur par rapport au mur porteur.
- **K : Kelvin**. Unité de mesure de la température (0°C = 273,15 K).
- **kWh<sub>ep</sub> : Kilowatt-heure d'énergie primaire**. Unité de mesure de la consommation d'énergie primaire.
- **kgeqCO<sub>2</sub> / teqCO<sub>2</sub> : Kilogramme (ou tonne) équivalent CO<sub>2</sub>**. Cette unité permet de calculer l'impact du bâtiment sur le réchauffement climatique. L'influence des différents gaz est exprimée en termes de masse de CO<sub>2</sub> engendrant un effet de serre équivalent.
- **m<sup>2</sup>SHAB : Surface HABitable en m<sup>2</sup>**. Surface de plancher calculée après déduction de l'emprise des murs, des cloisons, des caves, des sous-sols, des balcons et locaux dont la hauteur sous plafond est inférieure à 1,80 m.

- **m<sup>2</sup>SHON\_RT : Surface Hors Œuvre Nette en m<sup>2</sup>.** Ensemble des surfaces construites y compris l'emprise des murs et cloisons et déduction faite des surfaces extérieures et des surfaces non aménageables. La SHON administrative correspond à la SHON réelle réduite de 5% afin de minorer l'impact de l'isolation dans l'occupation des sols du bâtiment. En tertiaire elle est un multiple de la Surface Utile (1,1 pour les bureaux, l'enseignement primaire, commerces, gymnases ou établissement de santé et 1,2 pour l'enseignement secondaire ou les restaurants).
- **m<sup>2</sup>SU : Surface Utile.** C'est la surface de plancher construite des locaux soumis à la réglementation thermique, après déduction des surfaces occupées par les murs (compris l'isolation), des cloisons, poteaux, cages d'escalier, ébrasements ou encore des locaux techniques ou inférieurs à 1,8m.
- **m<sup>2</sup>SDP : Surface De Plancher.** Surface de référence prise en compte dans le décret tertiaire notamment.

Pour davantage d'informations concernant la multitude de surfaces utilisées dans les différents textes normatifs : <https://www.amoes.com/blog/bureau-d-etudes-thermiques-lao-shab-shob-shon-shonrt-surt-sdp-quel-foutoir-167.html>

- **Pont thermique :** Un pont thermique est une partie de l'enveloppe du bâtiment où la résistance thermique présente un défaut ou une diminution. Ils se situent généralement aux points de raccord des différentes parties de la construction.
- **Q4 :** niveau de fuites d'air du bâtiment (débit en [m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>]).
- **R pour les isolants : résistance thermique** [m<sup>2</sup>K)/W]. Plus R est grande, plus le matériau est isolant.
- **RT :** réglementation thermique. Les usages retenus pour le calcul des consommations sont : le chauffage, l'eau chaude sanitaire, la ventilation et les auxiliaires de chauffage, l'éclairage, la climatisation.
- **U [W/m<sup>2</sup>K] :** Coefficient de transmission thermique d'une paroi. Plus les U sont faibles et plus les parois sont performantes. Approximativement,  $U = 1/R$  (aux résistances superficielles prêt).
  - **Ubat :** Coefficient moyen de déperditions spécifique par transmission du bâtiment qui tient compte à la fois des pertes thermiques surfaciques et linéiques ramenées à la somme des aires intérieures des parois déperditives.
  - **Ubat max :** Coefficient de transmission surfacique moyen maximale du bâtiment. Pour être réglementaire, le Ubat doit être inférieur au Ubat max.
  - **Uw :** Coefficient de transmission surfacique de la fenêtre.
  - **Ujn :** Coefficient de transmission surfacique de la fenêtre. La différence avec Uw correspond à la prise en compte dans Ujn de la présence d'une fermeture (volets par exemple).
  - **Ug :** Coefficient de transmission surfacique du vitrage.
  - **Up :** Coefficient de transmission surfacique d'une paroi.
- **VMC : La Ventilation Mécanique Contrôlée** permet le renouvellement de l'air dans une zone. L'air neuf entre par des entrées d'air situées en pièces sèches (chambres et séjour) et un ventilateur extrait l'air vicié par les pièces humides (cuisine, salle de bains, wc).
- **W : Watt.** Unité de flux thermique. Plus cette valeur est élevée, plus les pertes énergétiques sont élevées.

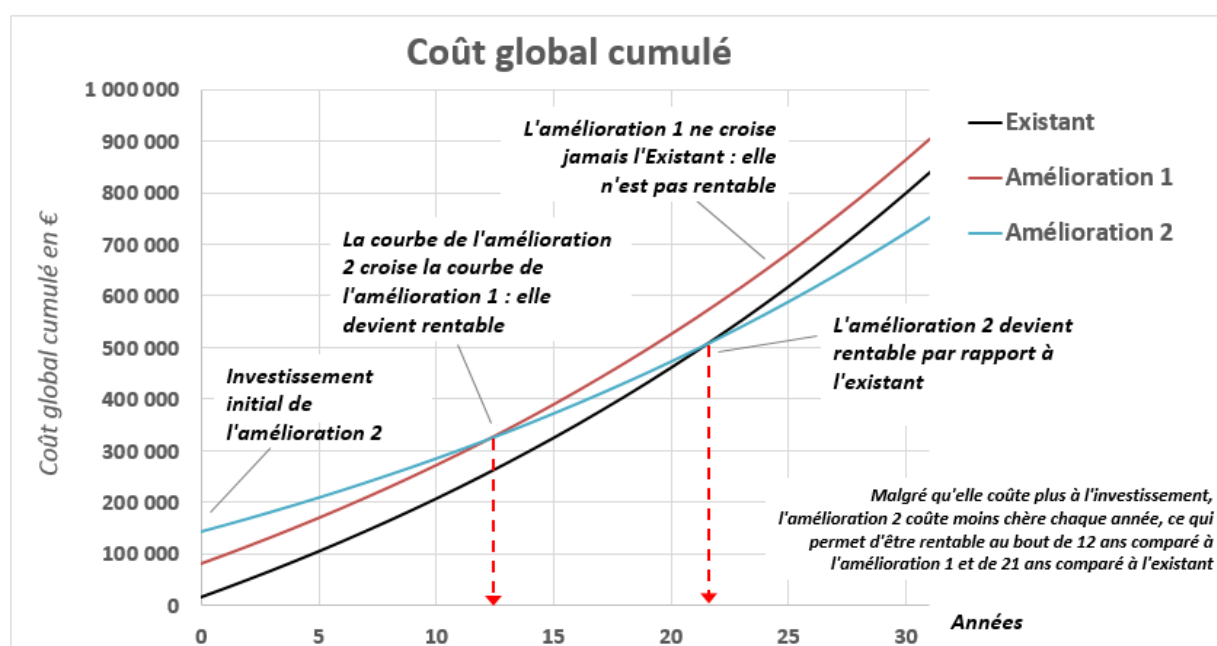
## ANNEXE 2. Coût global cumulé

Il est intéressant pour comparer 2 investissements sur le long terme de travailler en coût global cumulé. Il s'agit de prendre en compte :

- Le coût d'investissement initial de l'amélioration (qui peut éventuellement être lissé dans le temps par un emprunt)
- Le coût d'exploitation de l'amélioration, qui correspond à la somme des dépenses énergétiques + entretien/maintenance + abonnements
- L'augmentation du prix des énergies (hypothèses : 4% élec, 3% fossiles, 2% biomasse, 2% abonnement et entretien)

Ces dépenses mensuelles/annuelles, sont cumulées chaque année pour représenter le montant total qui sera déboursé dans x années (exemple : 1 000 €/an de dépenses, donc 10 000 € au bout de 10 ans + augmentation prix de l'énergie)

Ainsi, en traçant ces évolutions sur un graphique, cela permet de voir quand une amélioration devient rentable par rapport à une autre : quand 2 courbes se croisent, celle qui passe en dessous devient rentable.



Exemple fictif

Cette notion purement économique est cependant à nuancer car certaines opérations ne permettent pas d'économies d'énergie mais offrent d'autres avantages : indispensables pour la pérennité du bâtiment, amélioration du confort des occupants, etc.

[illegible]

CROUS Sartre Belfort