

# Travail de fin d'études

---

Pour le diplôme d'Ingénieure de  
l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat

## Comment améliorer la réduction de l'empreinte carbone dans les rénovations de bâtiments tertiaires en France ?

Par Cléa TOURNIER

2023-2024

Voie d'approfondissement Bâtiment

Organisme d'accueil du TFE :  
Bouygues Bâtiment Grand Ouest

Soutenu le 2 septembre 2024

Présidente du jury : Myriam BAHRAR

Maître du TFE : Mohamed Amine BADICH

Expert technique : Benjamin ROYER



L'école de l'aménagement durable des territoires

# Notice analytique

AUTEUR	
Nom	TOURNIER
Prénom	Cléa
ORGANISME D'ACCUEIL	
Nom de l'organisme	Bouygues Bâtiment Grand Ouest
Localité	Rouen – Seine-Maritime (76)
Nom du Tuteur	Mohamed Amine BADICH
ANALYSE DU TFE	
Titre (français)	Comment améliorer la réduction de l'empreinte carbone dans les rénovations des bâtiments tertiaires en France ?
Titre (anglais)	How to improve the carbon footprint reduction in tertiary buildings renovations in France ?
Résumé (français)	<p>Ce travail vise à apporter des pistes d'améliorations aux méthodes et procédés mis en place dans les projets de rénovations de bâtiment tertiaires en France, afin de réduire leur impact environnemental.</p> <p>Le rapport visera donc à faire un état des lieux des méthodes et données disponibles sur ce sujet, pour comprendre les avancées et les limites et ainsi mieux répondre aux objectifs environnementaux à différentes échelles. Le rapport précise d'où sont issus ces objectifs en regard de la situation climatique actuelle.</p> <p>Une étude de cas sera ensuite présentée, la Cité administrative de Rouen, un chantier de rénovation énergétique d'un ensemble de bâtiment utilisés en tant que bureaux, pour témoigner de ces pratiques sur une étude de cas concret et ainsi comprendre plus en détail les bonnes pratiques mais aussi les moins bonnes et les besoins d'adaptation à chaque projet.</p> <p>Cela permettra notamment d'analyser les nouvelles consommations du bâtiment après les travaux, son système de production d'énergie renouvelable ainsi que son impact carbone global. Des optimisations et des propositions d'amélioration du projet sont également envisagées car pour répondre aux enjeux environnementaux, les solutions doivent être nombreuses et complémentaires.</p>
Résumé (anglais)	<p>The purpose of this study is to bring some ideas to improve the methods and processes used in tertiary building renovation project in France, in order to help reduce their environmental impact.</p> <p>Therefore, an overview of the methods already used in this sector will be presented, in order to understand better the positive and negative aspects of those methods, and to find some ideas to achieve environmental goals at different scales, because it is urgent to bring solutions in this context of environmental crisis.</p> <p>A case study will also be studied, the Cité administrative of Rouen, which is an energetic renovation construction site of offices, to show in practice how those methods work, to understand their limits and think how it can be improved.</p> <p>The study will present an analysis of the new energy consumption after the end of the renovation, the rentability of its renewable energy production system and its global carbon footprint. Some optimizations and potential solutions, that must be various and additional, will be presented.</p>
Mots-clés (français, 5 maxi)	Rénovation, tertiaire, émission, empreinte carbone

Mots-clés (anglais, 5 maxi)	Renovation, tertiary, emission, carbon footprint		
Termes géo-graphique (français)	Cité Administrative, Rouen, Seine-Maritime, Normandie, France		
<b>COLLATION</b>			
	Nb de pages	Nb d'annexes (nb de pages)	Nb de réf. biblio.
	54	3	34

# Remerciements

---

Je tiens à remercier l'entreprise Bouygues Bâtiment Grand Ouest et notamment Emmanuel Levasseur et Antoine Le Bars pour m'avoir accueilli dans leurs équipes et m'avoir fait confiance. J'ai pu grâce à eux découvrir le monde des travaux qui m'a beaucoup plu et où j'ai pu apprendre énormément de choses. Grâce à leur confiance, j'ai eu des responsabilités qui m'ont permis de m'épanouir durant ce stage, en développant des qualités techniques et humaines qui me serviront tout au long de ma carrière.

Je suis reconnaissante envers toute l'équipe du chantier, qui m'ont accueilli parmi eux malgré mon absence d'expérience et qui m'ont apporté dès le premier jour leur conseil et leur support. En particulier Clément Moquet, Khasim Blin et Liana Gomèz qui n'ont jamais hésité à m'aider tout au long de ce stage, lorsque j'en avais besoin, et qui auront rendu mon expérience unique et joyeuse.

Je remercie également Benjamin Royer, qui a accepté de participer à ma soutenance sans hésitation, pour son expertise technique et son investissement dans ce projet. Je remercie Myriam Bahrar, pour ses conseils et sa bienveillance.

Je tiens aussi à remercier Mohamed Amine Badich, sans qui mon stage aurait été tout à fait différent, pour avoir accepté d'être mon maître de stage, pour ses conseils, son avis technique, qui n'a jamais hésité à prendre le temps pour m'apporter son soutien et enfin pour ses qualités humaines et sa bonne humeur qui m'auront permis de m'investir pleinement durant ce stage, avec envie et intérêt, et qui m'aura apporté énormément sur le plan humain pour la suite. Je garderai grâce à son implication et sa bienveillance un très bon souvenir de ce stage.

Enfin je remercie aussi ma maman et mes amis pour m'avoir soutenu durant toute ma scolarité et m'avoir donné leur conseil pour ce rapport.

# Déclaration de travail personnel

---

Je déclare que ce rapport constitue l'aboutissement d'un travail personnel et ne peut être suspecté de plagiat.

Le travail présenté distingue explicitement ce que j'ai produit de ce que j'ai emprunté à d'autres. A ce titre, les citations sont clairement identifiables et les sources (écrits, images) qui ont alimenté ma réflexion sont référencées.

# Tables des matières

---

<b>1. La rénovation énergétique comme levier de lutte contre le changement climatique</b>	<b>8</b>
1.1 L'importance et l'urgence d'agir pour le climat	8
1.2 Le cadre réglementaire de la rénovation énergétique en France	12
1.2.1 Contexte politique	12
1.2.2 Mise en place du dispositif EET	13
1.2.3 Stratégie nationale bas carbone	15
1.3 Sobriété et efficacité énergétique des bâtiments	18
1.3.1 Les progrès des performances thermiques dans les bâtiments	18
1.3.2 Principe de l'ACV dans la rénovation	18
1.3.3 Préservation des ressources	20
1.4 Protection de la biodiversité et du paysage	22
1.5 Conclusion	22
<b>2. L'étude de cas de la cité administrative de Rouen</b>	<b>23</b>
2.1 Présentation générale du chantier	23
2.1.1 Contexte et localisation	23
2.1.2 Fonction et utilisateurs	27
2.1.3 Objectifs du chantier	28
2.1.4 Label et certification	29
2.2 Présentation du stage	31
2.2.1 Présentation de l'entreprise	31
2.2.2 Fonctionnement du chantier	34
2.2.3 Mes missions	35
2.3 Etude technique et environnementale	39
2.3.1 Consommation et énergie	39
2.3.2 Bilan carbone	43
2.3.3 Exigences environnementales	46
2.3.4 Pistes d'optimisation	53
<b>3. Conclusion</b>	<b>54</b>
<b>Annexes</b>	<b>55</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>58</b>

# Tables des figures

---

- Figure 1 – Origine des émissions de CO2 dues à la combustion d'énergie en 2021
- Figure 2- Part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale brute des états membres
- Figure 3 - Calendrier de l'ADEME du dispositif EET
- Figure 4 - Puits et émissions de GES en 2050 selon le scénario de référence SNBC
- Figure 5 - Historique et projection des émissions du secteur des bâtiments en France (1990-2050)
- Figure 6 - Schéma du fonctionnement de l'ACV
- Figure 7 - Evolution du nombre de panneaux solaires en France (2017 - 2023)
- Figure 8 - Localisation Cité administrative, Google Maps
- Figure 9 - Vision maquette côté Sud, Cours Clémenceau
- Figure 10 - Vision maquette côté Nord, Quai Jean Moulin
- Figure 11 - Vue aérienne de la Cité au début des travaux (TR3)
- Figure 12 - Photographie aérienne prise du bâtiment G pendant la création du patio
- Figure 13 - Photographies du chantier prise par moi-même
- Figure 14 - Plan complet de la Cité, NO
- Figure 15 - Détails de la norme HQE Bâtiment Tertiaire
- Figure 16 - Organisation du groupe Bouygues
- Figure 17 - Carte des groupes de Bouygues Bâtiment France
- Figure 18 - Photographies avant/ après, N7 coursive Sud
- Figure 19 - Photographies des extérieurs, avril 2024
- Figure 20 - Photographie des extérieurs, août 2024
- Figure 21 - Photographie du patio et de la terrasse (prise par moi-même)
- Figure 22 - Répartition des consommations avant et après travaux
- Figure 23 - Bilan des consommations 2023 de la Tranche 1
- Figure 24 - Consommation de la CTA en février 2024
- Figure 25 - Plan de la toiture TR1
- Figure 26 - Graphique de l'évolution annuelle de la production de l'installation photovoltaïque
- Figure 27 - Diagramme des émissions statiques par lot , en Eges PCE
- Figure 28 - Photographie de l'extension F
- Figure 29 - Valeur et seuils du bilan carbone
- Figure 30 - Murs rideaux (Façade Ouest à gauche, Façade Nord à droite)
- Figure 31 - Châssis avec un dispositif de free-cooling
- Figure 32 - Schéma d'installation d'un panneau rayonnant
- Figure 33 - Panneaux rayonnants de la Cité
- Figure 34 - Plan micro-zoning CVC du niveau 1
- Figure 35 - Cloisons modulaires
- Figure 36 - Les 4 axes du label BiodiverCity
- Figure 37 - Nichoirs à chauve souris (à gauche) et à oiseaux (à droite)
- Figure 38 - Plantations réalisées sur l'ensemble du site
- Figure 39 - Terrasse biotope      Figure 40 - Murets en gabion
- Figure 41 - Rucher (à gauche) et affichage pédagogique (à droite)
- Figure 42 - Bornes IRVE (à gauche) et abri à vélos (à droite)

# 1. La rénovation énergétique comme levier de lutte contre le changement climatique

## 1.1 L'importance et l'urgence d'agir pour le climat

Alors que le monde émet chaque année l'équivalent de plus de 50 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub><sup>1</sup>, le changement climatique se manifeste partout sur la planète, avec des conséquences de plus en plus graves : des catastrophes naturelles (incendie, sécheresse...), des saisons dérégulées, l'élévation du niveau des océans et la fonte des glaciers, l'effondrement de la biodiversité... Les scientifiques s'alarment sur l'urgence d'agir pour protéger notre planète et parviennent à plusieurs conclusions, publiées notamment par le Giec. Ce sont en effet les activités humaines qui sont responsables à 100% de ce dérèglement climatique. Mais si nous sommes la cause du problème, nous sommes aussi responsables de trouver des solutions pour parvenir à réduire nos émissions de gaz à effet de serre et nous adapter au réchauffement climatique.

Lors de la COP21 de 2015, les Etats membres ont adopté l'Accord de Paris, qui fixe des objectifs à long terme pour permettre l'atténuation et l'adaptation des nations à l'échelle internationale, tout en prenant en compte les différences de développement et de moyens des pays. Après que cet accord a été révisé en 2021 (en préparation de la COP26), **l'Union Européenne s'est alors engagée à atteindre la neutralité climatique en 2050**, avec un premier objectif de réduction de 55% de ces émissions entre 1990 et 2030. La France a alors adopté une **Stratégie nationale bas-carbone (SNBC)** pour aller elle aussi dans ce sens.

Pour comprendre les conséquences du changement climatique, de nombreux ouvrages scientifiques ont été publiés et détaillent les scénarios envisageables au rythme actuel du réchauffement climatique. Le livre France2050 écrit par le journaliste Marc Lomazzi [1], publié en 2023, détaille notamment les conséquences du pire scénario du Giec, appelé scénario noir ou RCP8.5, qui correspond aux trajectoires actuelles mondiales et qui montrent les conséquences des activités humaines si aucun effort n'est fourni pour limiter nos émissions d'ici à 2050. Ce scénario conduirait donc en 2050 à ce que la France soit inondée partout sur son littoral, recouverte d'espèces invasives et de maladies tropicales, soumise à de grandes sécheresses et des canicules, avec des forêts brûlées ou encore des problèmes majeurs pour l'agriculture...

Lors de la publication du 6<sup>e</sup> rapport du Giec<sup>2</sup>, d'autres scénarios plus optimistes ont aussi été envisagés<sup>3</sup>. Pour limiter le réchauffement à 2°C, il faudrait donc émettre 1 086 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>, et pour le limiter à 1,5°C, à 336 milliards de tonnes. A titre de comparaison, le monde a émis en 2021 52,6 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>. **A ce rythme, le seuil des 1,5°C serait donc dépassé en à peine 6 ans.** Il est donc urgent d'agir à toutes les échelles si l'on veut éviter les conséquences dramatiques du changement climatique. Pour se faire, il faut ainsi analyser les émissions à de plus petites échelles et par secteur pour démultiplier les réflexions sur les stratégies à adopter et les solutions à mettre en place.

---

<sup>1</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Chiffres clés du climat - France, Europe et Monde - Édition 2023 ».

<sup>2</sup> ONU, « Sixième rapport d'évaluation du GIEC ».

<sup>3</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Scénarios et projections climatiques ».

En 2022, on estime qu'un quart des émissions de gaz à effet de serre (GES) en France sont issues du secteur du bâtiment, ce qui correspond à 120 millions de tonnes de CO<sub>2</sub><sup>4</sup>. De plus, 46% de la part des consommations énergétique en France est liée au secteur du bâtiment, soit 1,1 tonne équivalent pétrole par an et par habitant. Cette unité est utilisée pour comparer des consommations énergétiques. Concernant le parc tertiaire, il représente **1/3 de la consommation totale d'énergie des bâtiments**, ce qui correspond ainsi à environ 15% de la consommation nationale.<sup>5</sup>

Le **parc tertiaire**, c'est l'ensemble des bâtiments utilisés pour des activités tertiaires, dont les bureaux, l'enseignement, la justice, le commerce, les services publics, le médical, le tourisme, la culture, le sport, l'hôtellerie... En France, on considère que ce parc représente 973 millions de m<sup>2</sup><sup>6</sup>. L'enjeu de réduction des consommations de ce parc est ainsi essentiel pour lutter contre le changement climatique.

Il est aussi intéressant de comparer les répartitions d'émission de GES entre les secteurs à l'échelle européenne et à l'échelle nationale<sup>7</sup>. Alors qu'on constate qu'en Europe, les émissions de GES sont liées à 77% à l'utilisation de l'énergie dont 12% lié au résidentiel et tertiaire, en France seulement 68% des émissions sont liées à l'utilisation de l'énergie mais pourtant **14% des émissions totales proviennent du résidentiel/ tertiaire**. Il faut toutefois mettre ce chiffre en regard du précédent selon lequel ¼ des émissions de GES en France sont liées au bâtiment, car le secteur englobe également les émissions liées à la construction, les procédés industriels... d'où la différence de 10% entre ces 2 chiffres.

Voici un graphique représentant l'origine des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation d'énergie en 2021 dans différents territoires à l'échelle mondiale<sup>8</sup> :

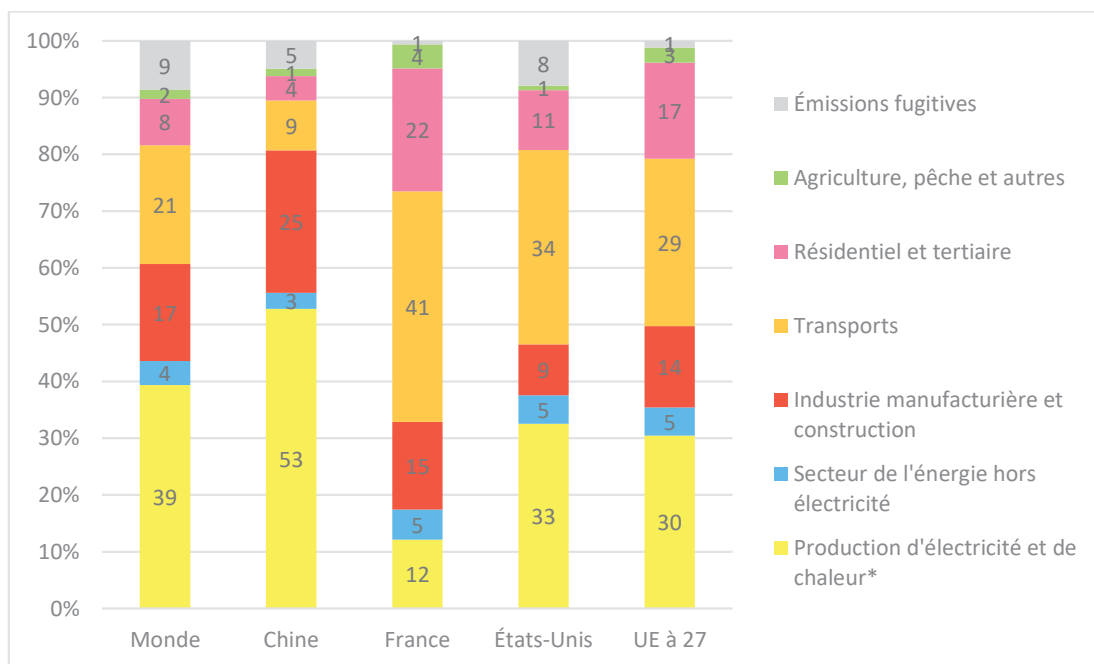


Figure 1 – Origine des émissions de CO<sub>2</sub> dues à la combustion d'énergie en 2021

<sup>4</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Énergie dans les bâtiments ».

<sup>5</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Émissions de GES du résidentiel et du tertiaire ».

<sup>6</sup> Cerema, « Bâtiments tertiaires ».

<sup>7</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Chiffres clés du climat - France, Europe et Monde - Édition 2023 ».

<sup>8</sup> « Répartition sectorielle des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde ».

On constate ainsi que **le secteur du résidentiel et du tertiaire représente une part plus importante des émissions en France que dans le reste du monde**, tout comme le transport et l'agriculture. Alors que de fortes diminutions ont été constatées depuis 1990 dans les secteurs de l'industrie de l'énergie (-46%) et des procédés industriels (-39%) en France, on peut comprendre d'après l'ensemble de ces données qu'il est donc urgent d'agir en France dans les secteurs du bâtiment, du transport et de l'agriculture, en investissant massivement et en développant largement des stratégies pour atteindre des niveaux équivalents aux autres pays européens.

Si la part des émissions liées à la production d'électricité et de chaleur est nettement inférieure en France que dans le reste du monde, on peut supposer que c'est essentiellement grâce à l'utilisation de l'énergie nucléaire car on constate sur le graphique ci-dessous que **la France n'a pas atteint son objectif 2020 de part de production d'énergie renouvelable** dans son mix énergétique (23%), contrairement à la grande majorité des autres pays de l'Union Européenne<sup>9</sup>.

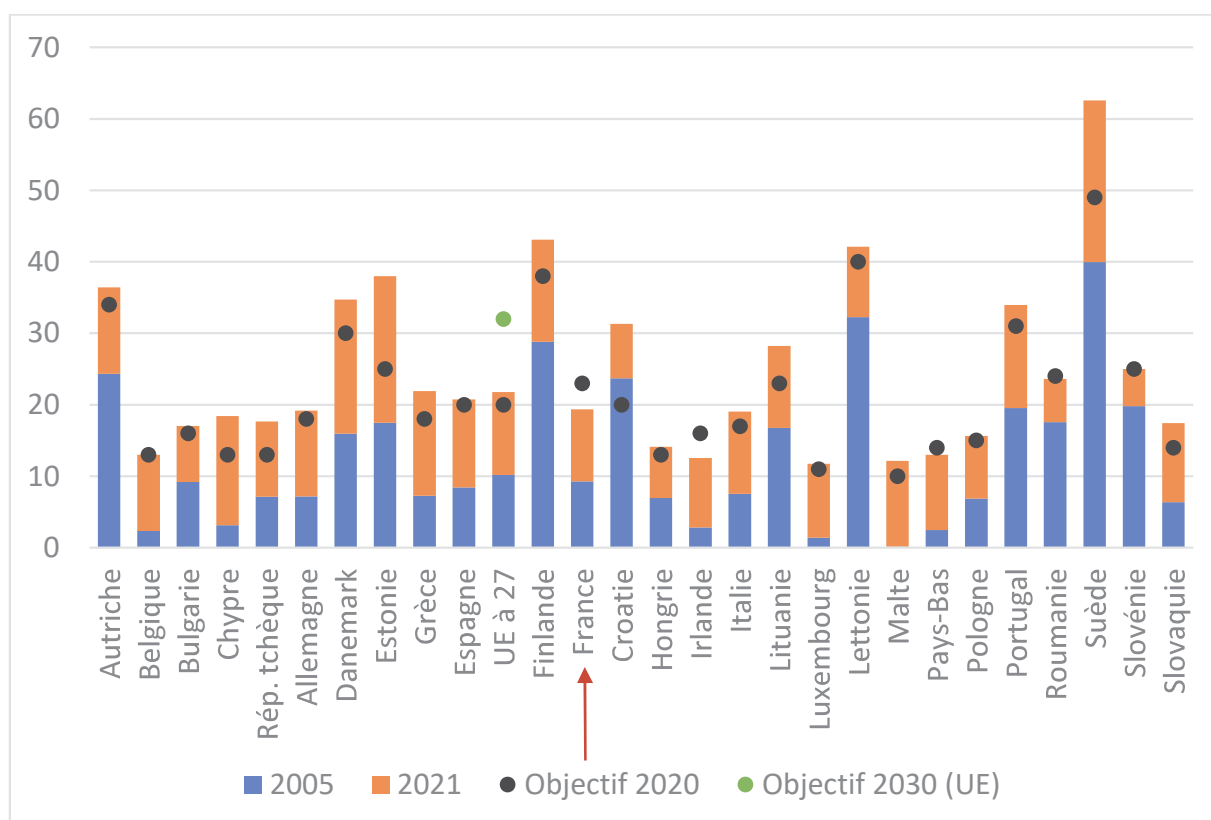


Figure 2- Part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale brute des états membres

De plus, il a été fixé en Europe à la suite de l'Accord de Paris<sup>10</sup> (en prenant pour référence l'année 1990), un objectif de réduction de 20% des émissions de GES pour 2020. Entre 1990 et 2019, les émissions de GES à l'échelle européenne avaient en fait été diminuées de 28%, donc l'objectif de 2020 a bien été atteint. En France, sur la même période, les émissions de GES ont été diminuées de 20%, et **l'objectif fixé pour 2030 est de 40% de réduction des émissions de GES**, contre 55% en Europe.

On peut donc prendre du recul quant à ces objectifs nationaux en sachant que la France est l'un des pays les plus riches et les plus développés d'Europe, avec des capacités d'investissement dans

<sup>9</sup> « Répartition sectorielle des émissions de CO2 dans le monde ».

<sup>10</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « COP28 ».

la recherche et le développement supérieures à beaucoup d'autres pays européens. Toutefois, la part des émissions de GES est aussi liée à ce développement car les pays plus pauvres, moins développés et moins peuplés représentent aussi une part moins importante d'émissions de GES et ont des enjeux de réduction d'émission tout à fait différents. L'étude sera donc dirigée dans le sens des objectifs nationaux et du cadre réglementaire français, tout en sachant qu'ils peuvent être différents de ceux fixés à l'échelle européenne.

## 1.2 Le cadre réglementaire de la rénovation énergétique en France

### 1.2.1 Contexte politique

Il est important de définir les dispositifs actuellement en vigueur et comprendre les objectifs fixés par le gouvernement et leurs échéances. Ainsi, la loi de Transition Énergétique a été publiée en 2015, suite à la loi Grenelle 2 de 2010 (qui imposait des travaux de rénovations dans les bâtiments tertiaires mais qui n'a pas eu de décret publié à la suite de sa publication). La loi de Transition Énergétique a pour objectif de permettre à la France de lutter contre le changement climatique et comme son nom l'indique, d'accélérer la transition énergétique. Il a été fixé un objectif de **réduction des consommations énergétiques des bâtiments de 60% à atteindre en 2050**. Pour atteindre cet objectif, il faut donc viser des paliers intermédiaires et mettre en place des stratégies.

En 2018, c'est la **loi ELAN**<sup>11 12</sup> portant l'évolution du logement, de l'aménagement et du numérique qui a été publiée et qui définit la stratégie du gouvernement. Le **décret tertiaire**<sup>13</sup> est ensuite entré en vigueur en octobre 2019 et vise à cadrer les obligations d'actions de réduction de la consommation (en énergie finale – c'est-à-dire l'énergie consommée par le bâtiment sans prendre en compte les pertes liées au transport, à la production et à la transformation de cette énergie, dite énergie primaire) des bâtiments à usage tertiaire. Le décret tertiaire détaille en effet les modalités d'application de l'article 175 (concernant le parc tertiaire) paru dans la loi ELAN.

De ce décret tertiaire est issu le **dispositif Eco Énergie Tertiaire (EET)**<sup>14</sup>, une obligation réglementaire qui impose une réduction des consommations en énergie finale pour le parc tertiaire. Les paliers définis à atteindre sont donc **-40% en 2030, -50% en 2040 et – 60% en 2050**<sup>15</sup>.

En parallèle, une nouvelle réglementation environnementale est publiée en 2020, la **RE2020**<sup>16</sup>. Elle fixe de nombreux objectifs à atteindre dans le secteur du bâtiment et de la construction avec 3 objectifs majeurs : la sobriété énergétique et décarbonation de l'énergie, la diminution de l'impact carbone, en particulier lié aux matériaux de construction et enfin la garantie de confort en cas de forte chaleur (aussi appelé confort d'été). Bien qu'elle concerne d'abord les logements, elle vise aussi les bâtiments du parc tertiaire (essentiellement les bureaux et les établissements scolaires aujourd'hui). Toutefois, cette réglementation est destinée aux constructions neuves.

Pour les bâtiments existants, différentes réglementations thermiques existent selon la taille et l'usage du bâtiment. Les bâtiments de plus de 1000m<sup>2</sup> soumis à des travaux de rénovation importante (ce qui sera notre cas dans cette étude) sont ainsi soumis à la réglementation thermique existant globale qui

---

<sup>11</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Loi portant évolution du logement de l'aménagement et du numérique (Elan) ».

<sup>12</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Ce qui change pour le secteur de la construction ».

<sup>13</sup> Légifrance, « Décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire ».

<sup>14</sup> Cerema, « Eco énergie tertiaire ».

<sup>15</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Éco Énergie Tertiaire (EET) ».

<sup>16</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Réglementation environnementale RE2020 ».

visent aussi des objectifs d'économie d'énergie et de confort d'été que la RE2020<sup>17</sup>, mais plus adapté à l'existant en fonction du type de bâtiment, de son usage ou de difficultés techniques par exemple.

Voici le calendrier défini par l'ADEME qui est l'agence en charge du suivi du dispositif EET:



Figure 3 - Calendrier de l'ADEME du dispositif EET<sup>18</sup>

### 1.2.2 Mise en place du dispositif EET

Les assujettis au dispositif EET sont les établissements qui hébergent des activités tertiaires et qui cumulent une **surface de plancher supérieur à 1000m<sup>2</sup>**<sup>19</sup>. Des exceptions sont faites pour les lieux de culte et les bâtiments liés à la défense ou la sécurité du territoire. Les assujettis représentent 68% du parc tertiaire français. Toutefois, **il est difficile d'obtenir pour l'instant des indicateurs ou des études qui montrent l'efficacité de ce dispositif**, les économies d'énergie réalisée depuis, ou même encore le nombre de bâtiments qui ont déjà été rénovés.

La principale raison de ce manque de donnée est liée à **la priorité de la rénovation qui est donnée aux logements**<sup>20</sup>, notamment grâce à des nouveaux outils de suivi mais aussi avec des aides financières, une campagne de communication et de sensibilisation importante et des accompagnements<sup>21</sup>. En effet, on estime à 36 millions le nombre de logements en France, dont 6 millions de passoires énergétiques identifiées au 1<sup>er</sup> janvier 2023<sup>22</sup> (parmi lesquelles on compte 4,8 millions de résidence principales) contre moins d'un million de locaux soumis au dispositif EET.

<sup>17</sup> Cerema, « RE2020 ».

<sup>18</sup> *Décryptage du mois*.

<sup>19</sup> FF Bâtiment, « Les obligations d'économies d'énergie dans les bâtiments tertiaires ».

<sup>20</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Observatoire de la Performance Énergétique et Environnementale ».

<sup>21</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Investissement en faveur du climat dédiés à la rénovation énergétique de l'ensemble du parc résidentiel et tertiaire - Suivi de la SNBC ».

<sup>22</sup> ONRE, « Le parc de logements par classe de performance énergétique au 1er janvier 2023 ».

De plus, le problème de l'existence des **passoires thermiques** est un problème plus global : au-delà de la réduction des consommations que permet la rénovation énergétique, cela touche aussi directement le problème de confort des habitants qui souffrent des conditions dans lesquelles ils vivent, notamment avec des sensations de courant d'air, de froid, ou bien des difficultés à dormir et à se reposer en période caniculaire. La rénovation massive des logements en France pose aussi des difficultés économiques majeures puisqu'une partie des ménages propriétaires ne peut s'offrir la possibilité de financer des travaux de son logement. Les premières études concernant la rénovation énergétique en France ont donc été conduites dans le sens de la rénovation des logements<sup>23</sup> afin de répondre aux problèmes du plus grand nombre et ne traitent pour la quasi-totalité pas du parc tertiaire.

Une deuxième raison qui permet d'expliquer le manque de donnée est que le dispositif EET n'est entré en vigueur que depuis octobre 2019, avec une première échéance de remontée des données de consommations pour la fin de l'année 2022. Ces données doivent être renseignées sur la **plateforme OPERAT**<sup>24</sup> – Observatoire de la Performance Énergétique de la Rénovation et des Actions du Tertiaire, qui a été mise en place par l'ADEME pour permettre un suivi de la mise en œuvre du dispositif EET.

Toutefois la plateforme a été mise en place trop récemment pour que l'on puisse en interpréter les chiffres mais une première analyse détaillée des résultats des données 2020 – 2023 est attendue pour la fin de l'année 2024. Pour l'instant l'ADEME a publié un bilan en juin 2024 afin de tirer les premiers enseignements sur le parc tertiaire déclaré et sur la pratique de la plateforme par les utilisateurs. Les conclusions majeures qui en sont faites permettent de dire (en raisonnant sur les surfaces déclarées) qu'à priori **seulement la moitié du parc assujéti** a utilisé la plateforme avant l'échéance demandée. Cela reste tout de même trop faible alors que le Cerema indique que 920 000 locaux sont assujettis au dispositif EET, et que seulement 235 000 ont été déclarés sur la plateforme OPERAT, soit environ ¼ des concernés<sup>25</sup>.

S'ajoute à cela de nombreuses limites sur les données récoltées, dont les principales sont les déclarations erronées, la non-prise en compte du climat pour comparer les consommations annuelles ainsi que la variation du nombre de déclarations d'une année à l'autre. Il faudra donc savoir établir une base de comparaison stable et fiable pour avoir un système de référence avant d'analyser les données. L'ADEME conclut que la plateforme doit également être améliorée sur certains points pour éviter des erreurs de remplissage et a donc créé des guides d'accompagnements disponibles pour les assujettis.

Il est encore trop tôt pour connaître l'efficacité du dispositif du fait du **manque de données globales** à l'échelle nationale. Les objectifs clairement fixés par le dispositif EET avec une première échéance des -40% en 2030 doivent pourtant être atteints en parallèle de la massification de la rénovation énergétique dans les logements. On peut donc se demander quels seront **les accompagnements, les outils et les moyens de financement** qui permettront aux bâtiments tertiaires d'être rénovés pour atteindre cet objectif. Cette question est aussi intéressante car une part importante des bâtiments tertiaires appartiennent à l'Etat ou à des organismes publics (administrations, hôpitaux, scolaire, justice...). De plus, il est important de noter que seuls les bâtiments de plus de 1000m<sup>2</sup> sont concernés

---

<sup>23</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Énergie finale économisée dans les secteurs résidentiel et tertiaire - Suivi des indicateurs de la SNBC ».

<sup>24</sup> ADEME, « plateforme OPERAT ».

<sup>25</sup> ADEME, « Performance énergétique du parc tertiaire ».

par le dispositif EET, donc les locaux plus petits à usage tertiaire ne seront concernés par aucune obligation de rénovation.

### 1.2.3 Stratégie nationale bas carbone

Comme mentionné plus haut, la France a adopté la **Stratégie Nationale Bas-Carbone** dite SNBC<sup>26</sup> depuis 2015 (et révisée en 2018-2019) pour viser la neutralité carbone à l'horizon 2050. Cette stratégie fixe notamment la trajectoire de réduction d'émission de GES à suivre en fixant des **budgets carbonés** par secteur d'activité. La SNBC prévoit pour atteindre la neutralité carbone de réduire au maximum toutes les émissions qui peuvent l'être et d'augmenter les **puits de carbone** pour compenser les émissions incompressibles.

Voici l'illustration graphique du scénario de référence imaginé par la SNBC à l'horizon 2050 :

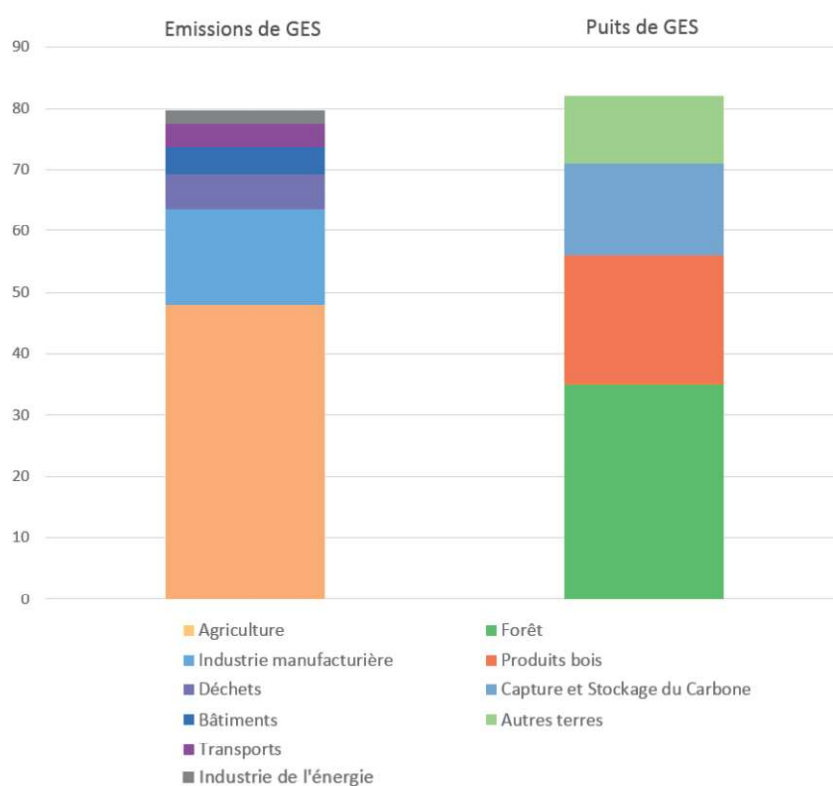


Figure 4 - Puits et émissions de GES en 2050 selon le scénario de référence SNBC

On remarque qu'en 2050 le secteur du bâtiment représente moins de 5Mt CO2eq, contre 120Mt CO2eq en 2022. Sur la période 2019-2023, le budget carbone en vigueur est de 422 Mt CO2eq par an, dont 78 Mt CO2eq pour le secteur du bâtiment, et de 359Mt CO2eq sur la période 2024-2028, dont 60Mt CO2eq pour le bâtiment. On peut donc déjà affirmer que l'objectif de 2022 n'était pas atteint concernant le secteur du bâtiment.

<sup>26</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) ».

Pour aller plus loin, voici un graphique reprenant les projections établies en 2015 :

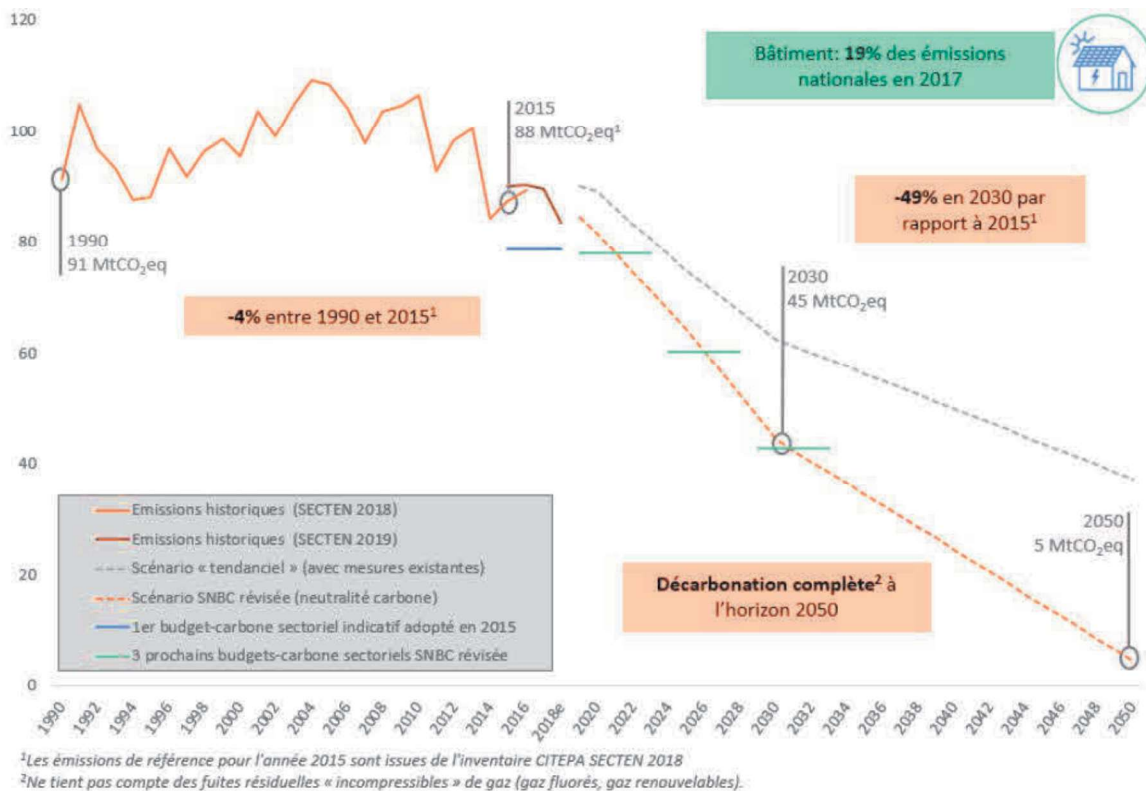


Figure 5 - Historique et projection des émissions du secteur des bâtiments en France (1990-2050)

On remarque ainsi que le scénario tendanciel actuel est bien supérieur au scénario de la SNBC, donc des efforts supplémentaires doivent être fournis pour permettre d'atteindre la décarbonation complète d'ici à 2050.

La SNBC fixe plusieurs objectifs à atteindre dans le secteur du bâtiment :

- Utiliser des énergies entièrement décarbonées en 2050 (en 2015, 10% des émissions de GES en France étaient liées à la production d'énergie)
- Avoir recourt aux solutions les plus adaptées pour le bâtiment en fonction de son environnement, son usage, sa forme...
- Faire de la rénovation des logements une priorité, et notamment éradiquer les passoires thermiques sans oublier les bâtiments tertiaires, qui sont souvent publics, afin de donner l'exemple
- Atteindre des meilleurs niveaux de performance énergétique et de réduction de carbone des constructions neuves
- Améliorer l'efficacité énergétique des équipements et adopter un comportement des usagers plus responsables en visant la sobriété énergétique

La SNBC est évaluée grâce à des indicateurs qui permettent de comprendre la stratégie dans son ensemble. Ces indicateurs sont actualisés chaque année pour permettre le suivi du budget carbone, et ils sont recalculés tous les 2 ans pour prévoir de nouvelles révisions. En effet, **tous les 5 ans la SNBC est complètement révisée et refixe ses objectifs**, ses priorités, le scénario de référence et donc également le budget carbone attribué. Cela permet également de réévaluer la trajectoire prise et celle à prendre aux cours des années à venir.

Pour atteindre les objectifs fixés par la SNBC dans le secteur du bâtiment, il faut donc avoir recours à de nouvelles innovations technologiques, à la fois sur l'enveloppe du bâtiment mais aussi sur ces équipements, permettre le développement des industries et de formation de professionnels du secteur, ainsi qu'une prise de conscience pour permettre un changement de comportement des usagers.

## 1.3 Sobriété et efficacité énergétique des bâtiments

### 1.3.1 Les progrès des performances thermiques dans les bâtiments

Au cours des dernières décennies, beaucoup de recherches et d'études scientifiques ont contribué au progrès des études thermiques des bâtiments en France et permettent désormais de connaître précisément les consommations d'énergie dans n'importe quel type de bâtiment.

Dans les bâtiments tertiaires, on utilise notamment des **GTB, Gestion Technique du Bâtiment**, ou GTC, Gestion Technique Centralisée, qui sont des systèmes informatisés qui permettent de gérer l'ensemble des équipements des bâtiments tertiaires ainsi que de connaître dans le détail les postes de consommation de ces mêmes bâtiments. Cela permet notamment d'étudier les différences entre les consommations réelles et les consommations initialement estimées par les bureaux d'étude thermique.

Plusieurs interprétations de ces écarts sont possibles mais certaines sont souvent mentionnées, notamment le **comportement des usagers**, qui peuvent soit faire plus d'efforts que prévu en réduisant leur consommation en chauffage et en électricité, ou d'autres au contraire plus énergivore, souvent pour des raisons de confort. En effet, pour inciter les usagers à adopter des comportements de consommation plus sobres, il faut également leur permettre d'avoir accès à plus de confort. Des scénarios sont donc désormais faits sur le **confort d'été** (pour résister aux fortes chaleurs et limiter les consommations d'énergie liées à la climatisation) ainsi que sur le confort d'hiver avec une bonne isolation et un mode de chauffage efficace.

Une autre raison qui explique les différences de consommations prévues et réelles sont aussi les conditions climatiques d'une année à l'autre. Des méthodes sont désormais utilisées avec un **indice de rigueur climatique** qui permet d'avoir une **référence** pour comparer les consommations malgré les différences de températures extérieures qui peuvent générer des gros écarts de consommation de chauffage entre 2 hivers.

Beaucoup de progrès techniques et industriels ont également été fait concernant la performance des matériaux isolants, notamment pour résorber les ponts thermiques, souvent présents dans les bâtiments tertiaires construits avant l'apparition de ces matériaux plus efficaces. On a aussi accès à des modes de chauffage beaucoup plus performants et environnementalement moins impactant comme la géothermie ou les pompes à chaleur.

Si l'on réalise aujourd'hui des diagnostics de performance énergétique DPE dans les logements, ce principe n'existe toutefois pas dans les bâtiments tertiaires mais ceux-ci peuvent être soumis à différents labels ou certificats qui attestent de leur **niveau de performance énergétique**.

### 1.3.2 Principe de l'ACV dans la rénovation

Pour calculer l'impact carbone d'un bâtiment, on réalise des **analyses de cycle de vie (ACV)**, qui sont calculé sur un cycle de vie complet du bâtiment, que l'on fixe à 50 ans. Pour la RE2020, il y a 2 indicateurs principaux dans le calcul : **IC composants et IC énergie**.

IC composants permet de comptabiliser les émissions de GES liées aux composants : soit les émissions liées à leur production, leur transport, leur installation (y compris l'énergie utilisée), leur utilisation et maintenance, ainsi que le nombre de remplacement à prévoir sur 50 ans et leur fin de vie.

IC énergie est quant à lui un indicateur qui permet de prendre en compte les émissions liées à la production de l'énergie et à son utilisation dans le bâtiment (chauffage, éclairage, ventilation...) sur 50 ans.

Dans le cas de bilan carbone réalisé pour des rénovations, les indicateurs sont différents, en comptabilisant de manière séparée les émissions du chantier (Eges\_chantier), les émissions des matériaux et équipements utilisés (Eges\_PCE), ou les émissions liées à l'énergie (Eges\_Energie). Les méthodes de calculs sont un peu différentes avec des coefficients affectés par exemple au type de matériaux ou au type d'usage de bâtiment.

Voici un schéma du cycle de vie complet du bâtiment et des étapes prises en compte pour réaliser l'ACV :

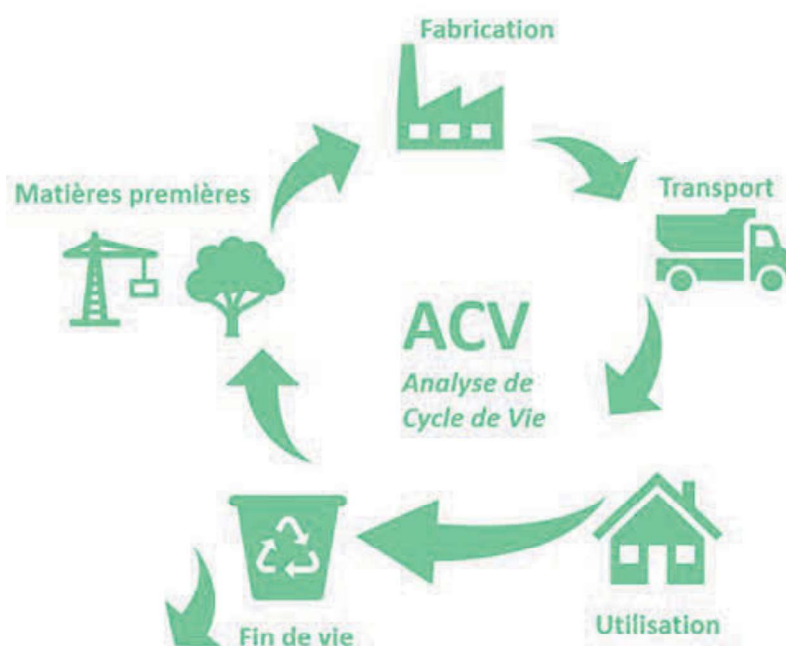


Figure 6 - Schéma du fonctionnement de l'ACV

L'ACV est une **étude environnementale**, souvent faite à partir de logiciel car le calcul est long et fastidieux : il faut bien connaître les données d'entrée, notamment l'ensemble des quantités des matériaux utilisés, qui sont associés à des **données environnementales** et qui vont permettre de calculer l'ensemble des émissions produites. Ces données environnementales sont répertoriées dans des fiches de déclarations environnementales (FDES) déposées par le fabricant sur une base de données appelée INIES<sup>27</sup>.

Cela pose toutefois certaines limites puisqu'actuellement la base de données des FDES n'est pas exhaustive, notamment concernant certains matériaux plus utilisés de nos jours, et qu'on rencontre sur les chantiers de réhabilitation. En effet, il est pour l'instant encore difficile de connaître précisément la quantité de matériaux réutilisés et de les caractériser d'un point de vue environnemental avec une

<sup>27</sup> « Inies, les données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment et la RE2020 ».

FDES. De plus, la majorité des bâtiments tertiaires actuellement rénovés en France ont été construits depuis plusieurs décennies avec des matériaux beaucoup moins performants. La phase de curage très souvent nécessaire dans ce type de bâtiment doit aussi être prise en compte pour pouvoir estimer précisément les émissions de GES liées à la phase chantier.

Le CEREMA a publié en 2023 une étude<sup>28</sup> qui visait à faire un état de l'art concernant la prise en compte du carbone dans les projets de rénovation en France. La particularité de l'ACV dans ce contexte est de prendre en compte les **matériaux existants** en séparant ceux qui seront démolis et ceux qui seront conservés, tout en prenant également en considération leur **fin de vie** et donc l'impact du renouvellement s'il est nécessaire. Selon les ouvrages en travaux, un calcul de **stockage carbone** peut également être réalisé, par exemple si des **matériaux biosourcés** sont ajoutés à la construction. Si des matériaux sont réutilisés, 2 calculs différents sont réalisés, selon s'ils ont le même usage ou s'ils sont réemployés pour une autre fonction.

L'ACV en rénovation rencontre aussi d'autres limites puisqu'il peut être difficile de connaître les quantités exactes de matériaux utilisés car il y a souvent des écarts entre l'étude prévue durant la phase de conception et les aléas de la **phase d'exécution** lié à la rénovation. Toutefois, il arrive qu'on fasse l'hypothèse que ces écarts sont négligeables à l'échelle des émissions totales du bâtiment. Cela dépendra notamment de la taille du bâtiment et de l'ampleur des différences rencontrées à la phase d'exécution.

Le **bilan carbone** calculé grâce à la méthode de l'ACV est donc pertinent puisqu'il prend en compte toutes les émissions du bâtiment, ce qui permet de mieux mesurer leur impact, mais il présente encore plusieurs limites en particulier pour les rénovations, car c'est une méthode récemment utilisée dans ce type de chantier.

### 1.3.3 Préservation des ressources

Pour atteindre ses objectifs de réduction de consommation d'énergie de 40% d'ici à 2050, la France a mis en place un plan de **sobriété énergétique**. Cela consiste à limiter au maximum la consommation de ressources comme l'énergie, les matériaux, l'eau... en adaptant son mode de vie, c'est-à-dire en sensibilisant notamment les usagers à faire évoluer leur comportement pour faire plus attention à leur consommation énergétique notamment.

Bien qu'il émerge désormais des bâtiments à énergie positive, c'est-à-dire des bâtiments auto-suffisants qui ne consomment que l'énergie qu'ils sont capables de produire (voir qui produit même plus d'énergie que leur consommation) ce n'est pas le cas de la grande majorité des bâtiments, qui consommeront quoi qu'il arrive une certaine quantité d'énergie. Il faut donc connaître la source de production de cette énergie, et alors utiliser autant que possible des énergies renouvelables. La solution la plus répandue, actuellement en plein essor en France (notamment pour les logements) est **l'utilisation de panneaux photovoltaïques**.

---

<sup>28</sup> Cerema, « Comment évaluer l'impact carbone dans les projets de rénovation des bâtiments ? »

En recherchant les données relatives aux installations solaires photovoltaïques raccordées en France<sup>29</sup>, j'ai notamment pu exploiter ces chiffres pour en extraire le graphique suivant :

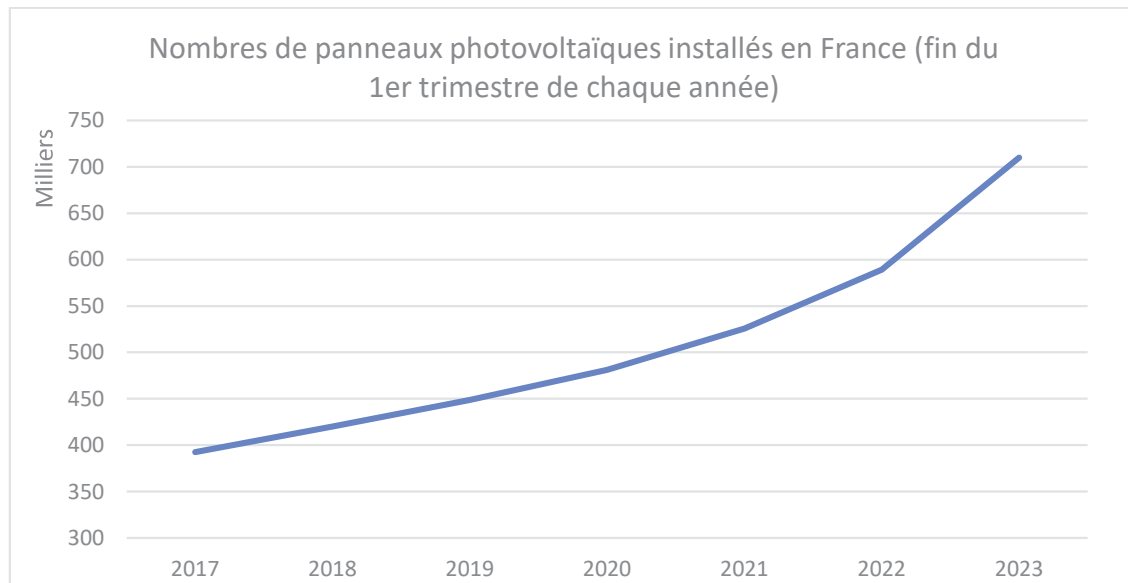


Figure 7 - Evolution du nombre de panneaux solaires en France (2017 - 2023)

On constate donc bien l'accélération du nombre d'installation au 1<sup>er</sup> trimestre de l'année 2023 comparé à la tendance des 6 dernières années. Les chiffres de 2024 ne sont pas encore disponibles.

Toutefois, cette solution est souvent chère et pose des problèmes de recyclage. On estime en effet en moyenne la durée de vie d'un panneau à 30 ans, bien que cela varie en réalité de 20 à 50 ans. Cela pose donc des **problèmes de pérennité et de rentabilité** d'une installation photovoltaïque, que ce soit en termes de matériau (batterie non recyclable...) ou en termes de coût.

De plus, il existe un problème de rendement des panneaux qui diminuent au cours du temps, et qui varie selon l'exposition. Il faut aussi les nettoyer régulièrement car cela peut également altérer le rendement. Evidemment, le rendement du panneau dépend aussi de sa puissance.

Des nouveaux procédés se développent de manière ponctuelle, comme par exemple l'usage de la chaleur fatale des équipements, notamment informatiques, qui produisent de la chaleur et qui jusqu'à présent étaient refroidis ou ventilés pour évacuer cette chaleur. On utilise désormais ces équipements pour chauffer le bâtiment en période hivernale ce qui permet une double économie, en supprimant la consommation du refroidissement des équipements d'une part mais aussi en réduisant la consommation liée au chauffage du bâtiment d'autre part.

<sup>29</sup> Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, « Tableau de bord ».

## 1.4 Protection de la biodiversité et du paysage

Chaque projet d'aménagement du territoire en France pose aussi des questions sur la modification du **paysage et la sauvegarde des espèces** qui vivent sur place. En effet, chaque année la France perd 20 à 30 000 hectares d'espaces naturels, agricoles ou forestiers, pour utiliser ces terres pour des activités humaines. C'est ce phénomène qu'on appelle l'artificialisation des sols et qui est un facteur majeur de perte de biodiversité.

Pour lutter contre ce phénomène, la France a donc adopté l'objectif **ZAN – Zéro Artificialisation Nette**<sup>30</sup>, à atteindre pour 2050, établi dans la loi Climat et résilience (2021). Désormais, chaque nouveau projet d'aménagement du territoire doit donc viser cet objectif en suivant une méthode appelée **ERC – Eviter Réduire Compenser**. Des études préalables sont donc faites pour les nouvelles infrastructures pour d'abord éviter au maximum tout ce qui peut l'être, en déviant par exemple le projet s'il traverse un cours d'eau ou une zone protégée... Ensuite, il faut réduire les impacts lorsque les obstacles ne peuvent pas être évités, et enfin proposer des mesures de compensation. De ce fait, des projets de reverdissement sont régulièrement mis en place pour permettre de redonner plus de place à la nature et aussi d'installer de nouvelles zones ou des aménagements propices au redéveloppement de la biodiversité.

## 1.5 Conclusion

Il est urgent et crucial d'agir pour le climat, afin d'atteindre les objectifs fixés par l'Union Européenne et par la France, mais surtout pour limiter notre impact sur la planète et pour éviter des conséquences catastrophiques. L'impact des émissions liées au secteur du bâtiment est particulièrement important en France, et si l'on a trouvé des moyens de limiter nos émissions dans d'autres domaines, il apparaît que c'est plutôt à cause du manque d'investissement dans le secteur que les émissions restent encore aujourd'hui trop importantes. Il faut donc trouver des solutions techniques mais aussi des aides financières, en accélérant la recherche et en développant des procédés industriels notamment, mais aussi en sensibilisant les acteurs du secteur à mettre en place des procédés pour rendre plus sobres et efficaces les bâtiments. L'enjeu est particulier dans la rénovation des bâtiments tertiaires puisque ce sont souvent des bâtiments publics, qui donnent l'exemple à suivre pour tous et qui incitent ainsi à faire des progrès.

Il existe à la fois des nouveaux matériaux plus performants thermiquement, des systèmes technologiques qui permettent de mieux gérer les consommations ou de produire de l'énergie renouvelable, ou de réduire au maximum l'utilisation des ressources. De nouvelles méthodes visent enfin à mesurer l'impact environnemental des travaux et du bâtiment, en évaluant d'une part l'impact carbone de la rénovation, mais aussi en préservant au maximum les espaces naturels et la biodiversité.

Pour comprendre l'application de ces nouveaux moyens et méthodes, nous allons maintenant étudier la Cité administrative de Rouen, en analysant les nouveaux procédés mis en place sur ce chantier mais aussi en explorant les limites de ces solutions pour en proposer des pistes d'amélioration.

---

<sup>30</sup> Vie publique, « Zéro artificialisation nette (ZAN) ».

## 2. L'étude de cas de la cité administrative de Rouen

Le projet de rénovation de la cité administrative de Rouen a démarré en 2017. Il a pour but d'améliorer la performance énergétique de l'ensemble des bâtiments mais aussi de revaloriser les locaux pour améliorer le confort des agents. L'opération totale a coûté 96 millions d'euros.

C'est un groupement d'entreprise dont le mandataire est Bouygues Bâtiment Grand Ouest qui a été retenu pour faire la conception et la réalisation des travaux à la fin de l'année 2019. Le cabinet d'architecte Artefact a également participé ainsi que le bureau d'études Sogeti pour l'expertise technique (CVC,CFA, CFO), le paysagiste Gaïa et le bureau d'étude Albedo pour la conception environnementale et l'expertise acoustique. Les travaux ont été commandés par la préfecture de la Seine Maritime qui est le maître d'ouvrage de ce projet.

Les travaux ont démarré en 2020 et se sont terminés à la fin du mois de juillet 2024.

### 2.1 Présentation générale du chantier

#### 2.1.1 Contexte et localisation

La cité administrative de Rouen se situe sur le côté Rive gauche de Rouen, dans le quartier Saint-Sever, à proximité de l'arrêt de métro Joffre-Mutualité et juste à côté du siège du département de la Seine-Maritime (76).

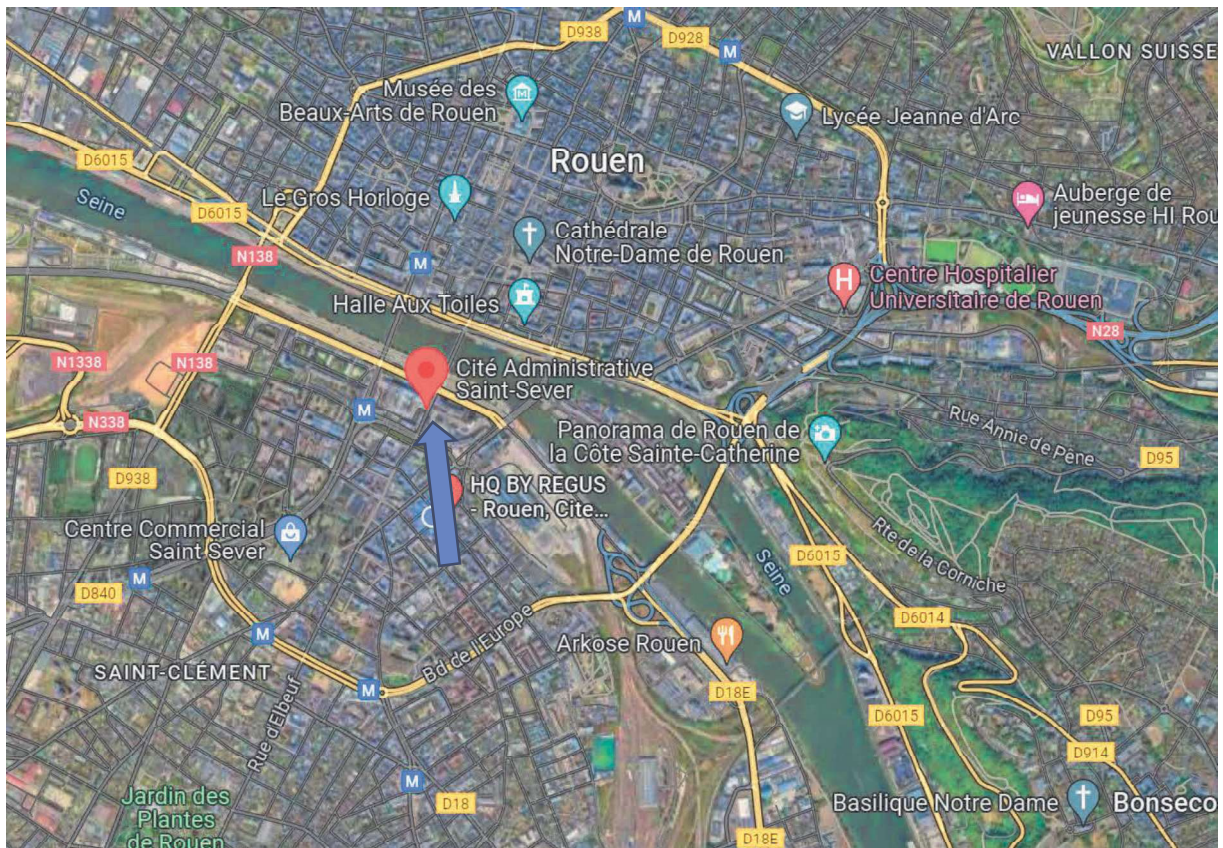


Figure 8 - Localisation Cité administrative, Google Maps

Le chantier a duré 4 ans et s'est réalisé en 3 tranches distinctes, afin de permettre à une partie des agents d'occuper les locaux non concernés par les travaux. L'opération a été une réhabilitation lourde en opération tiroir, car elle a été entièrement réalisée en site occupé, mais dont les occupants des locaux étaient évacués durant les travaux.

Voici une frise chronologique du déroulement du chantier :



Il y a 7 bâtiments au total sans compter les locaux annexes, répartis sur 10 niveaux (R+7 et 2 niveaux au sous-sol).

Comme tout chantier de réhabilitation, les travaux ont débuté par une phase de curage et désamiantage sur chaque tranche. Il y avait en effet de nombreux matériaux et surfaces amiantées mais aussi plombés.

La Cité est accessible des deux côtés Nord et Sud, dont voici la vision imaginée en maquette :



Figure 9 - Vision maquette côté Sud, Cours Clémenceau



Figure 10 - Vision maquette côté Nord, Quai Jean Moulin

Pour comprendre l'ampleur des travaux et notamment ceux réalisés sur l'enveloppe extérieure, voici ci-dessous quelques photos prises sur site avant et après travaux sur la Tranche 3 (TR3). On observe d'un point de vue aérien sur la figure 12 le bâtiment le plus à l'Ouest de la Cité, il correspond aussi à celui modélisé sur la figure 10.

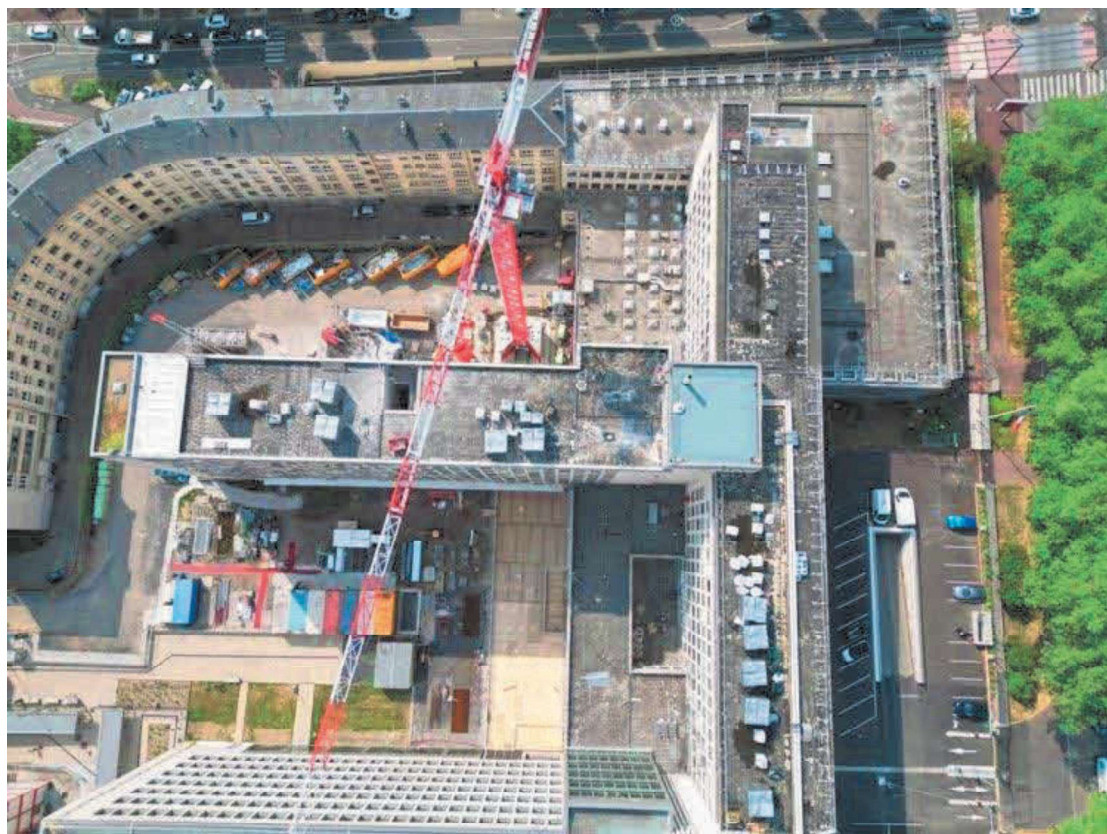


Figure 11 - Vue aérienne de la Cité au début des travaux (TR3)

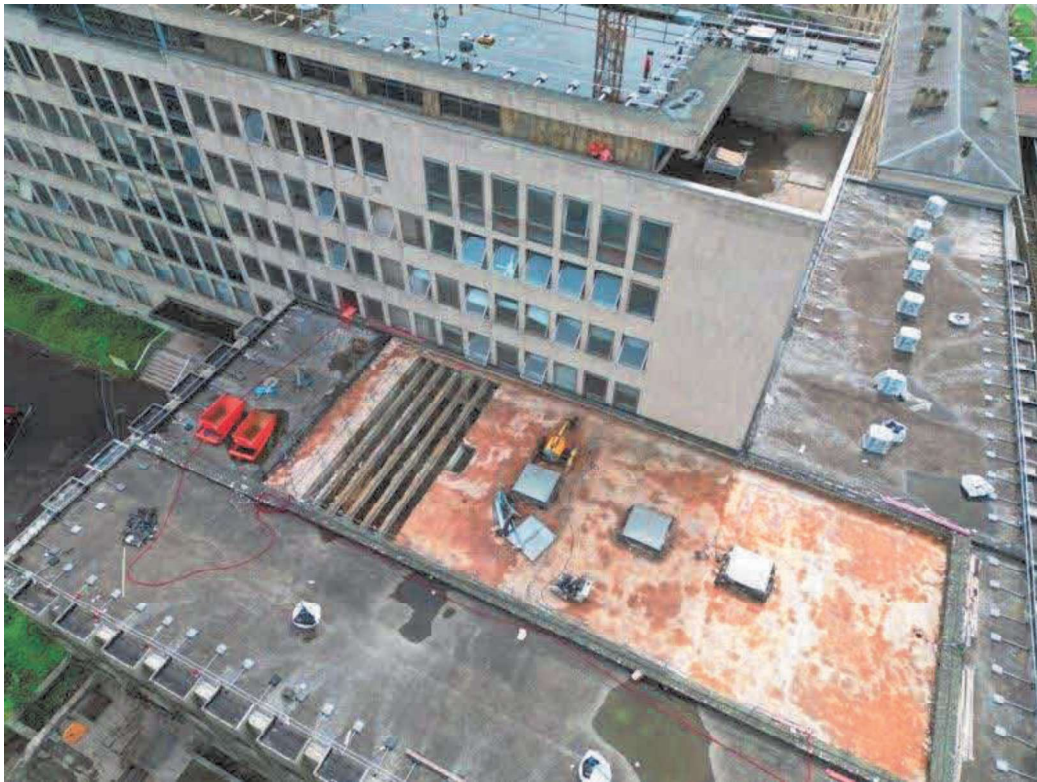
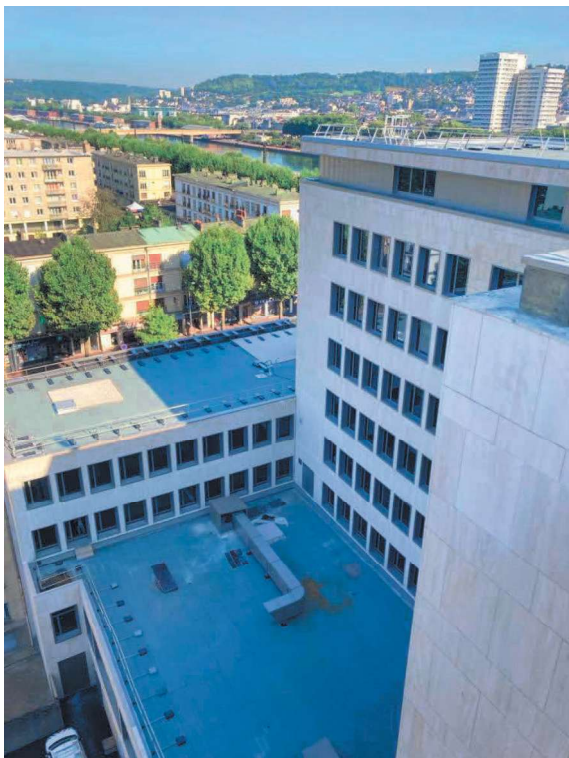


Figure 12 - Photographie aérienne prise du bâtiment G pendant la création du patio

Après la fin des travaux, voici quelques photos que j'ai prise (en juillet 2024) des bâtiments depuis l'extérieur :



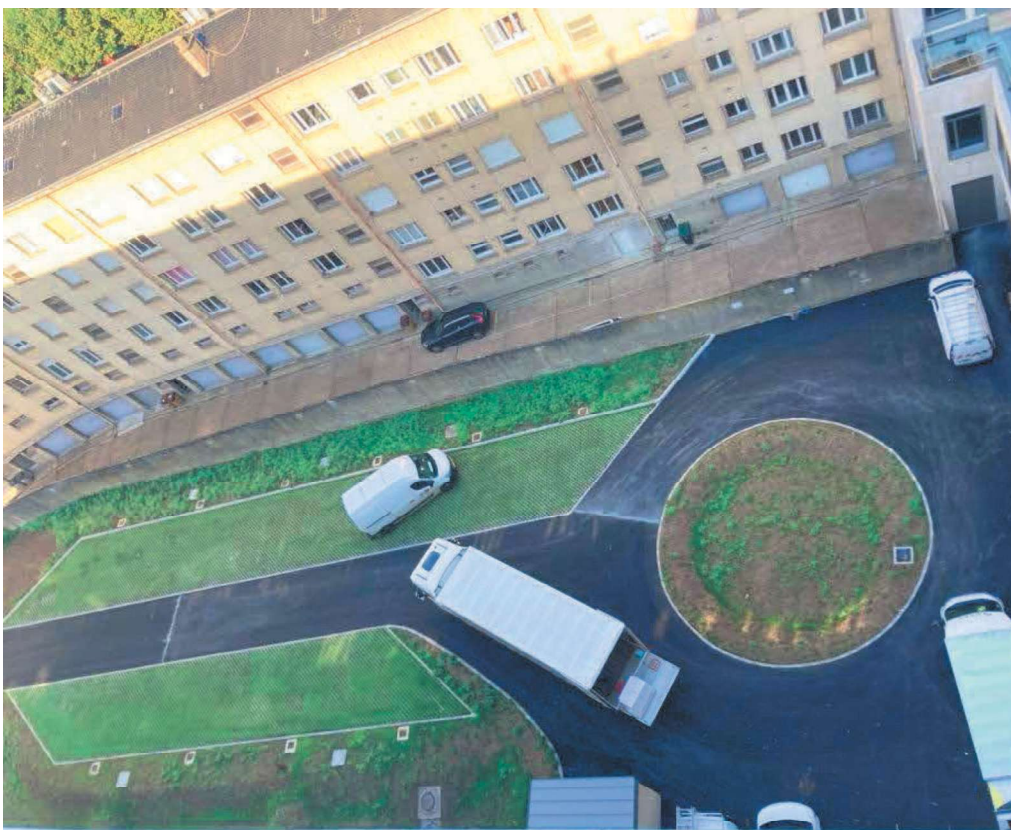


Figure 13 - Photographies du chantier prise par moi-même

### 2.1.2 Fonction et utilisateurs

La Cité administrative permet de regrouper de nombreux services de l'Etat, notamment le service des impôts, qui accueille du public quotidiennement, mais aussi de nombreux autres services présents dans la Métropole, utile pour l'ensemble du département ou de la Normandie.

Il est en effet prévu que 1800 agents occupent à terme la Cité, ce qui permettra de libérer une quinzaine de sites actuellement occupés pour tous les regrouper sur la Cité. C'était l'un des intérêts du projet puisque cela simplifie grandement l'entretien de l'ensemble de ces bâtiments, (qui est désormais nécessaire uniquement à de la Cité) et réduit également les coûts de la location de tous les locaux.

La Cité est ainsi pensée dans son ensemble pour accueillir ces nombreux agents mais aussi du public. Il y a donc à la fois des locaux classiques comme des bureaux de types open-space ou individuel, des salles de réunion, des plus petits espaces de confidentialité, mais également des locaux moins communs comme ceux dédiés à la formation, une bibliothèque, un amphithéâtre/ auditorium pour faire des conférences, ainsi que 2 salles de sports et un restaurant pour les agents. De grands espaces modulaires ont été ajoutés pour permettre de rendre le bâtiment plus fonctionnel et moderne et d'avoir des possibilités d'usage variées.

Au total, il y a 38 000m<sup>2</sup> de bureaux, répartis dans 7 bâtiments (noté A à G). Il y a également un parking sous-terrain, construit sur 3 niveaux, ainsi qu'un grand parking aérien côté Quai Jean Moulin (Nord) et un plus petit parking côté Cour Clémenceau (Sud). Ce dernier parking donne également accès au local convoyeur de fond avec une sécurité adaptée grâce à des portails et un contrôle d'accès.

Voici un plan complet aérien de la Cité :

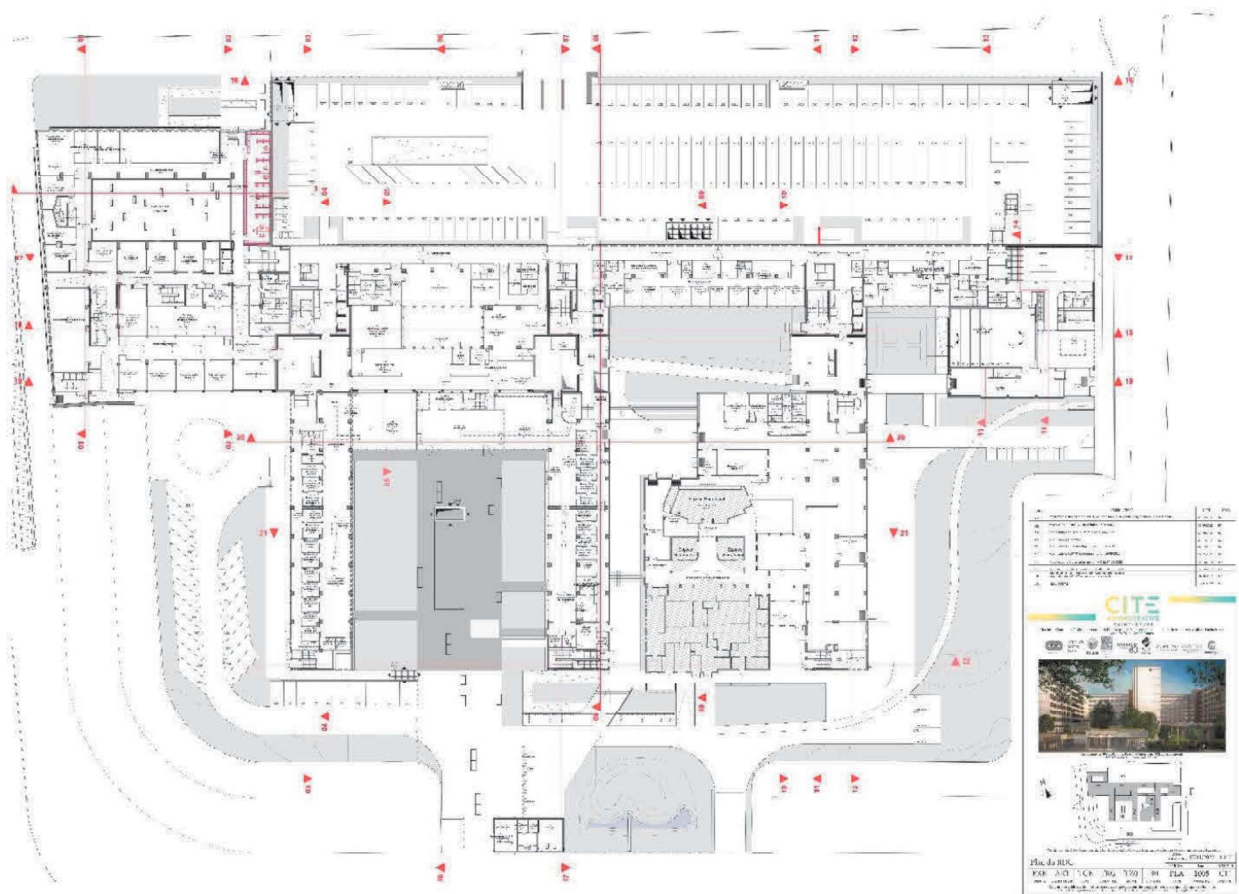


Figure 14 - Plan complet de la Cité, NO

Des espaces verts et zones de détente ont également été repensés pour rendre le bâtiment plus accueillant et agréable à vivre, en ajoutant aussi du mobilier comme des bancs, des abris range-vélo, des jardinières décoratives...

Comme tout ERP (établissement recevant du public), la Cité doit aussi respecter des normes concernant l'accueil PMR ainsi que des normes de sécurité avec des systèmes de protection incendie du bâtiment et des moyens d'évacuation d'urgence. Le gardien possède son logement dans le bâtiment. Il y a aussi des locaux techniques pour l'ensemble des équipements et machineries (électricité, chauffage, ventilation...) notamment au sous-sol ou en toiture, ainsi qu'un poste de sécurité (PCS).

### 2.1.3 Objectifs du chantier

Le site a été construit dans les années 1960 et n'avait jamais connu de travaux. Il était obsolète d'un point de vue énergétique et très inconfortable pour les occupants. Le but du projet était donc de **réduire de 70% ces consommations d'énergie** ainsi que d'améliorer grandement l'ergonomie de travail et remodeler le bâtiment.

Des travaux ont été réalisés à la fois sur l'enveloppe du bâtiment, notamment en changeant les menuiseries extérieures, isolant les façades (par l'intérieur ou l'extérieur selon les faisabilité techniques) et en mettant en place des systèmes plus modernes pour améliorer les performances du

bâtiment (ventilation par free-cooling, chauffage par panneau rayonnant, éclairage LED automatisé)... Des panneaux photovoltaïques ont également été installés pour permettre une production d'énergie renouvelable.

De nouveaux espaces ont également été aménagés, dont 1 patio pour permettre d'apporter de la lumière aux bureaux et d'y créer un espace de détente extérieur, ou des agrandissements de certains bâtiments, comme 1 extension entièrement en structure bois pour limiter l'empreinte carbone de la rénovation.

La sécurité est également améliorée grâce à des caméras de surveillance, des loges d'accueils construites pour les agents de sécurité et des portails automatisés.

#### 2.1.4 Label et certification

La Cité fait l'objet d'une certification pour témoigner de sa nouvelle performance énergétique et environnementale. En effet, c'est l'organisme certificateur CERTIVEA qui évalue la performance du bâtiment dans le cadre de la certification NF Bâtiment Tertiaires<sup>31</sup> associée au label HQE<sup>32</sup>.

La norme permet d'attester l'atteinte de niveaux particuliers en matière d'écoconstruction, d'éco-gestion, de confort et de santé.

En particulier, elle nécessite la mise en place d'un management pour fixer et atteindre des cibles environnementales précises. L'obtention de la certification dépend alors des niveaux obtenus pour chaque critère.



Figure 15 - Détails de la norme HQE Bâtiment Tertiaire

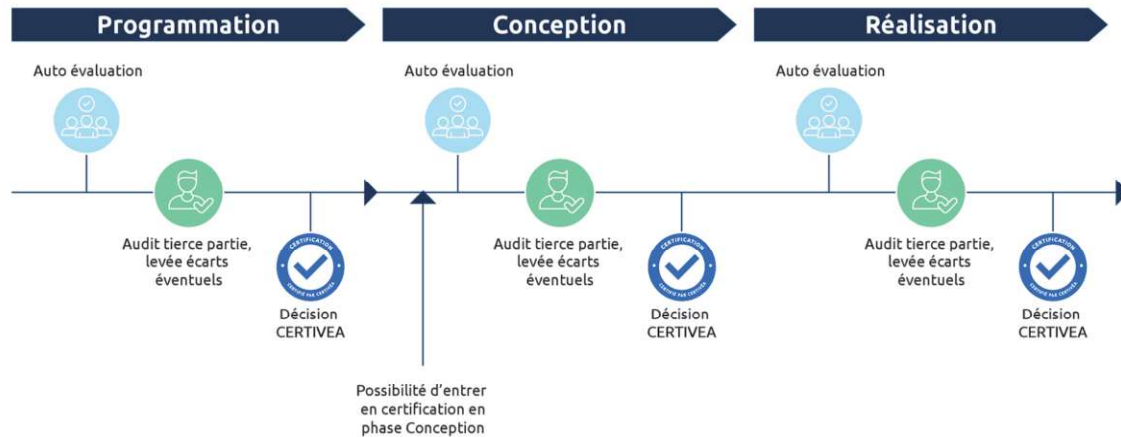
Dans le cadre de cette certification, le niveau de label visé est le label BBC Effinergie rénovation 2009, qui correspond à une **réduction de 40% du niveau de consommation du bâtiment en énergie primaire (Cep)**, lié au chauffage, au refroidissement, à la production d'eau chaude sanitaire, à l'éclairage et à la ventilation, ainsi qu'aux auxiliaires de production. L'énergie primaire correspond à la quantité d'énergie nécessaire avant toute forme de transformation, telle qu'elle est naturellement.

<sup>31</sup> NF, « NF Bâtiments Tertiaires associée ou non à la marque HQE et/ou au label HPE (NF380) ».

<sup>32</sup> CERTIVEA, « HQE Bâtiment en Rénovation ».

CERTIVEA est un organisme spécialisé pour les opérations de rénovation tertiaire, avec plus de 50 millions de m<sup>2</sup> de bâtiments tertiaires certifiés HQE (Haute Qualité Environnementale). Le label s'appuie sur 15 thèmes, comme la qualité de l'air intérieur ou de l'eau, le confort acoustique, visuel et hygrothermique, les déchets, l'énergie, l'adaptation au changement climatique, l'adaptabilité, l'économie circulaire...

Voici les étapes à suivre pour obtenir la certification :



Même si la certification n'est pas encore officielle, le niveau de réduction 40% du Cep est bien atteint depuis les travaux puisqu'une réduction de plus de 50% des consommations a été constatée sur la tranche 1 et sur la tranche 2, nous reviendrons sur ces données dans l'analyse des consommations dans la partie 2.3.1 .

## 2.2 Présentation du stage

### 2.2.1 Présentation de l'entreprise

Fondé dans les années 50 par Francis Bouygues, le groupe Bouygues était initialement spécialisé dans le bâtiment et implanté en Ile-de-France. Depuis, le groupe s'est largement diversifié autour de 4 secteurs d'activité, dont celui du bâtiment, qui concerne à la fois la construction avec Bouygues Construction, mais aussi l'immobilier (Bouygues Immobilier) et les routes (Colas).

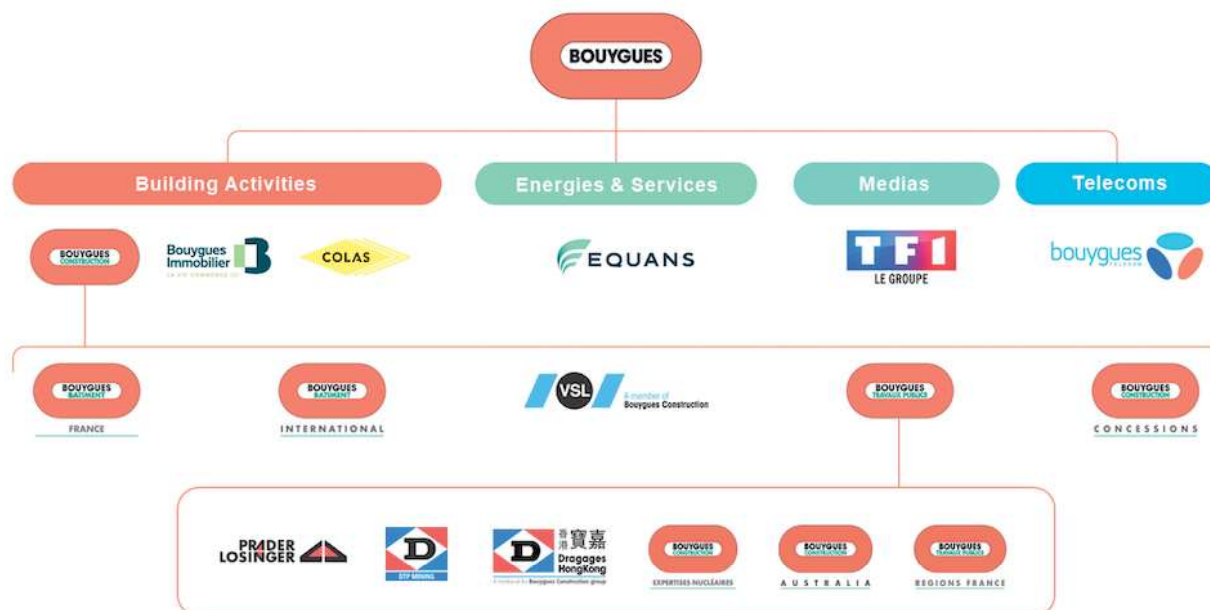


Figure 16 - Organisation du groupe Bouygues

Au sein de Bouygues Construction<sup>33</sup>, il y a plus de 32 000 collaborateurs, qui interviennent dans 60 pays différents et sur presque tous les continents. Les activités sont variées avec la conception-réalisation de constructions neuves ou de rénovations dans des bâtiments de tout type (Bouygues Bâtiment France et International), une activité de travaux publics (Bouygues Travaux Publics) avec la réalisation d'ouvrages d'arts, tunnels ou autre et enfin un pôle concession (Bouygues Construction Concessions) avec la gestion et exploitation d'infrastructures de transports, d'équipement sportifs ou encore d'autres.

<sup>33</sup> Bouygues Bâtiment Grand-Ouest, « Nos références ».

L'entreprise Bouygues Construction est répartie en 2 groupes, avec Bouygues Bâtiment France, et Bouygues Bâtiment International. Il y a plusieurs antennes au sein de Bouygues Bâtiment France, réparties selon leurs secteurs territoriaux comme le montre la carte suivante :

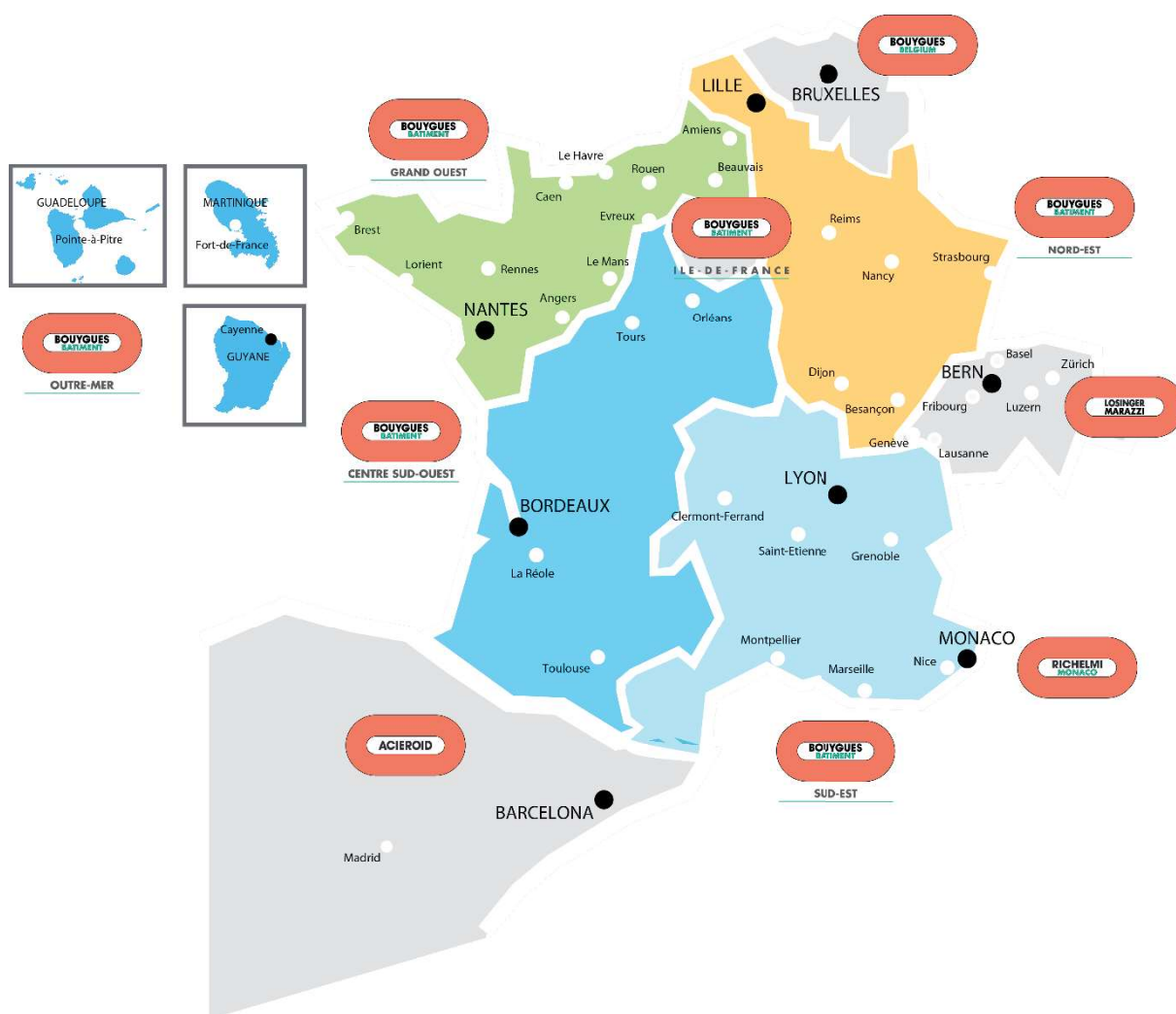


Figure 17 - Carte des groupes de Bouygues Bâtiment France

Bouygues Bâtiment Grand Ouest (BBGO) est donc une antenne de Bouygues Bâtiment France qui couvre la Bretagne, le Pays de La Loire, la Normandie et la Picardie. Sur ce territoire, 1 160 collaborateurs travaillent à la fois sur des chantiers de réhabilitation mais aussi de constructions neuves, que ce soit pour des bureaux mais aussi pour des logements ou parfois d'autres types de fonctions telle que la santé, l'éducation, les loisirs, les services publics. Il existe aussi des services transverses qui servent d'appui à la préparation et à la gestion de chantier comme le service des achats, le service qualité, le service prévention sécurité, les études (structure, méthode...).

Comme mentionné précédemment, Bouygues Bâtiment Grand Ouest est un acteur polyvalent qui intervient à la fois dans la conception mais aussi la réalisation et même l'exploitation de certains de ces ouvrages. La conception est notamment faite pour utiliser autant que possible des matériaux moins carbonés et en économisant les ressources utilisées.

Voici quelques exemples des réalisations faites récemment qui sont très diverses :



La Maison de Nicodème, située à Nantes, est une maison de santé de 4 000m<sup>2</sup> qui disposent de 24 chambres de soins palliatifs ainsi que d'un espace funéraire qui a été également réhabilité.



L'écovillage des Noés, crée dans l'Eure, est un village de 98 logements qui a pour but de tester un nouveau mode d'habitat, plus respectueux de l'environnement, qui représentent 4,5 ha aménagés dont un tiers de zone verte au bord de la rivière. L'écovillage met en avant plusieurs principes forts et locaux comme la gestion du compost, des jardins partagés, un parc écologique avec des observatoires, et beaucoup de plantations d'espèces locales.

Les logements ont également été réalisés pour être dits passifs avec une architecture et une enveloppe adaptée pour être le plus performant possible. Ces logements sont destinés à des usages en tant que logements sociaux pour garantir la mixité sociale. L'écovillage est ainsi devenu le premier écoquartier labellisé de Normandie.



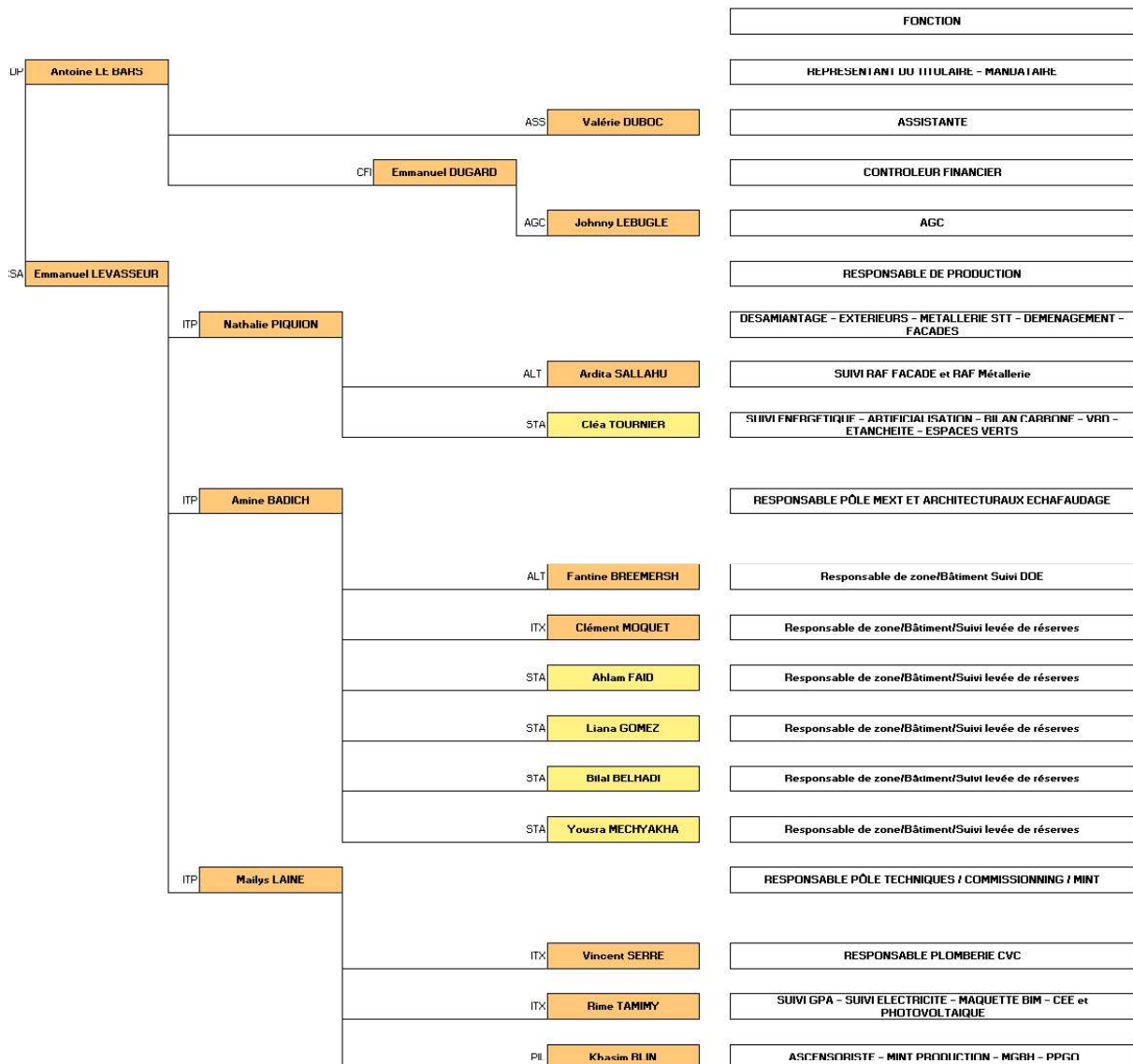
Les complexes White Pearl et Anita Conti au Havre, qui font partis d'un programme immobilier en partenariat avec Link City, ont été construits au bord de la mer dans un cadre remarquable et rassemblent plusieurs hôtels luxueux, restaurant, salles de séminaire et boutiques.

L'entreprise accueille de nombreux stagiaires et valorise l'insertion professionnelle. Elle fait confiance à des entreprises locales ou régionale pour réaliser les prestations qu'elle sous-traite. La filiale Linkcity Grand Ouest intervient dans ce sens pour favoriser l'activité sur le territoire en contribuant à des projets immobiliers. Cela permet ainsi de générer de l'activité et de contribuer à l'économie régionale. L'entreprise met enfin en avant des valeurs fortes : esprit d'équipe, simplicité, confiance et esprit pionnier.

### 2.2.2 Fonctionnement du chantier

Pour réaliser le chantier, BBGO fait essentiellement appel à des entreprises spécialisées chacune dans leurs domaines (peinture, sol dur, sol souple, façade, bardage, étanchéité...) et met en place des contrats de sous-traitance avec eux. Au total, plus de 60 sous-traitants différents sont ainsi intervenus sur la Cité. La menuiserie intérieure et les travaux de gros œuvre ont sur ce chantier été toutefois entièrement réalisés par des compagnons BBGO en part propre. Le rôle des conducteurs de travaux est donc de suivre ces sous-traitants, en effectuant à la fois un suivi sur chantier pour s'assurer de la bonne réalisation des ouvrages mais aussi un suivi administratif et contractuel.

Voici l'organisation de l'équipe du chantier avec les statuts ainsi que les missions de chacun :



### 2.2.3 Mes missions

Mes missions en tant que conductrice de travaux durant ce TFE étaient de gérer les lots extérieurs du bâtiment, en étant responsable du respect du délai imposé et de la bonne qualité des ouvrages concernés. Durant la majeure partie de mon stage, j'ai donc géré les lots de VRD, espaces verts et étanchéité.

Mon rôle était d'organiser les interventions de mes sous-traitants, à la fois en préparant leurs zones de travaux mais aussi décider avec eux de l'exécution concrète en fonction de la conception initialement prévue et des aléas techniques que nous pouvions rencontrer. Je devais également m'assurer du bon rythme d'avancée en faisant des plannings. J'ai également eu la responsabilité de leur suivi financier pour compléter mes missions de terrain avec une gestion plus administrative.

Voici quelques photos supplémentaires que j'ai prise au début et à la fin de mon stage :



Figure 18 - Photographies avant/ après, N7 coursive Sud

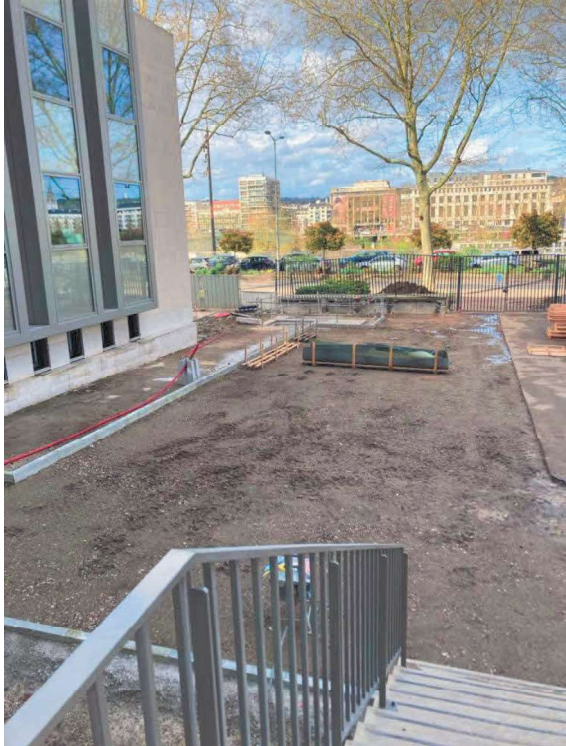
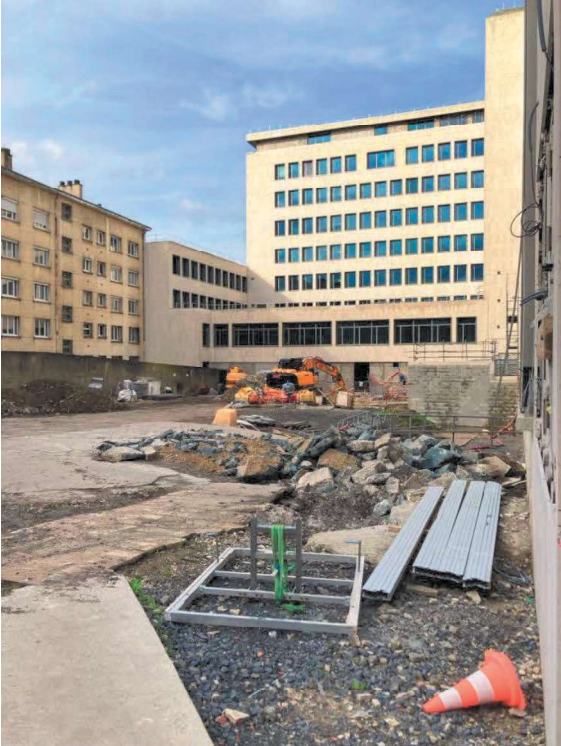




Figure 19 - Photographies des extérieurs, avril 2024

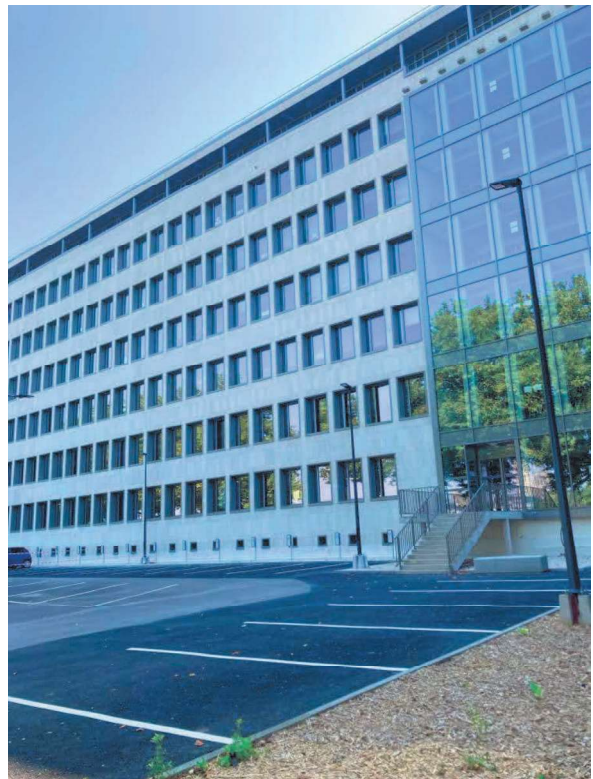




Figure 20 - Photographie des extérieurs, août 2024

Une des parties qui m'a le plus intéressée durant les modifications de conception a notamment été le choix de végétaliser la totalité des 2 patios et d'une terrasse afin d'apporter plus de verdure que prévue au projet.

Figure 21 - Photographie du patio et de la terrasse (prise par moi-même)

En effet, j'ai rencontré des difficultés techniques d'approvisionnement des matériaux qui m'ont conduit à devoir proposer d'autres solutions pour utiliser les patios. En réfléchissant avec l'entreprise de paysagistes que je suivais, qui réalisait l'ensemble des espaces verts, nous avons donc fait le choix de végétaliser avec du sédum tous les espaces qui étaient partiellement prévus d'être aménagés à l'extérieur. Cela permet notamment d'apporter de l'esthétique au projet mais aussi de rafraîchir le bâtiment grâce au stockage d'eau des plantations. Cela a notamment permis de réduire la surface artificialisée du projet.

L'entreprise de paysagiste avec laquelle j'ai travaillé a aussi installé des nichoirs pour mettre en place des solutions de protection de la biodiversité.



## 2.3 Etude technique et environnementale

### 2.3.1 Consommation et énergie

#### 2.3.1.a Analyse générale

Grâce à la mise en place de la GTB, on peut connaître les nouvelles consommations du bâtiment, notamment en tranche 1 et 2 qui sont depuis 2023 toutes deux réoccupés par des agents. Il avait au préalable été calculé la consommation globale de la Cité, avant les travaux, ramenés en kWh/m<sup>2</sup>. Cette consommation s'élevait alors à presque 200 kWh/m<sup>2</sup> annuel.

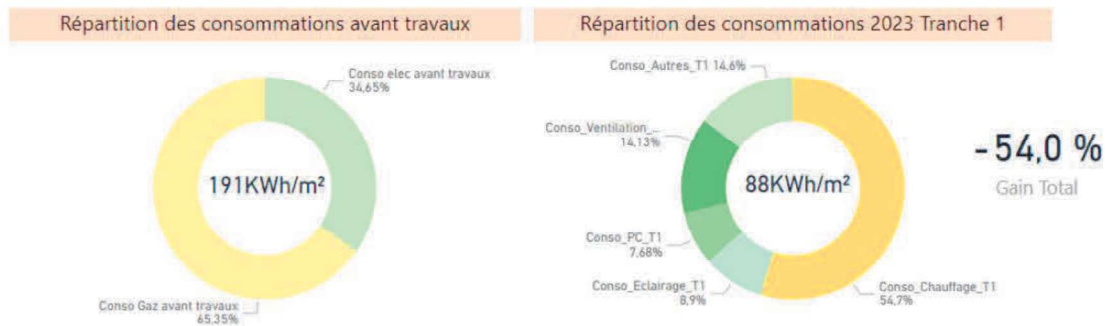


Figure 22 - Répartition des consommations avant et après travaux

Un bilan des consommations en électricité et en gaz a également permis d'obtenir les 2 graphiques suivants :

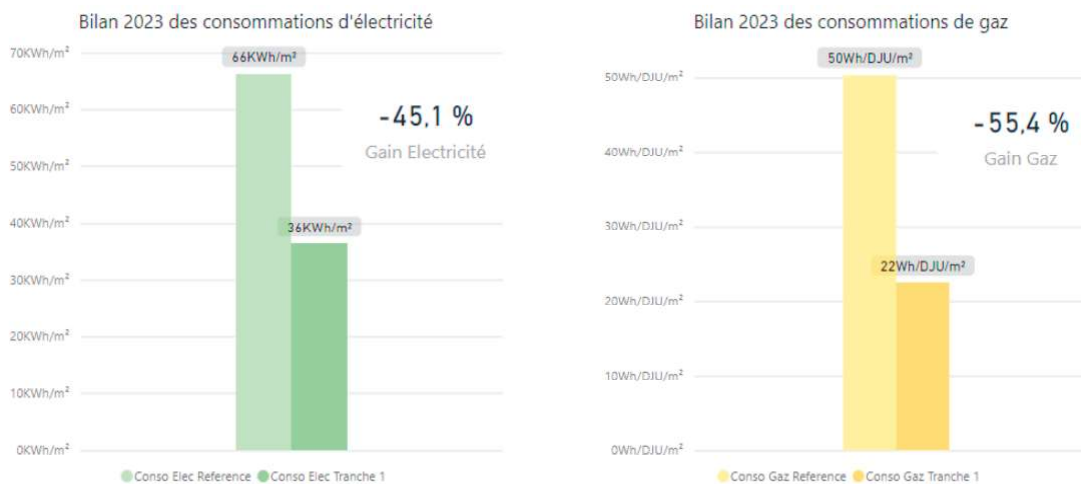


Figure 23 - Bilan des consommations 2023 de la Tranche 1

On remarque donc qu'une nette réduction des consommations a été obtenue grâce aux travaux, cependant l'objectif global des 70% de réduction n'a pas été atteint.

Cela peut s'expliquer par différents facteurs, notamment la rigueur climatique plus forte durant l'hiver 2023, qui n'est pas modérée dans ces données. En effet, on peut difficilement le prendre en compte dans ce cas car on ne connaissait pas précisément les consommations avant travaux et on a simplement utilisé les compteurs et factures d'électricité et gaz pour retrouver ces consommations.

Le comportement des usagers est aussi un facteur très influent sur les consommations, notamment le choix de la température de consigne, qui change nettement les consommations de chauffage, et qui est souvent modifié par les usagers pour des raisons de confort. L'éclairage et les consommations électriques liés aux appareils de bureautiques jouent également un rôle puisque dans notre cas d'étude la Cité est dédiée à des centaines d'agents qui utilisent des ordinateurs tous les jours, ainsi que d'autres appareils comme des imprimantes, photocopieurs... De fortes consommations de veille ont notamment été observés, à hauteur de 25 à 30%. Il est clair que même si certains appareils doivent rester en fonctionnement, il serait possible de réduire de moitié ces consommations en faisant plus attention à éteindre tous les équipements et en chauffant moins le bâtiment à vide par exemple.

Pour prévenir ces comportements, il a été envisagé à la Cité 4 scénarios à suivre selon les conditions météorologiques pour permettre à la fois d'adopter un comportement sobre mais tout en respectant le confort des usagers. Il y a donc un scénario adapté au froid et un scénario adapté au grand froid (qui sont logiquement mis en place en hiver) un scénario pour les climats plus doux (printemps, été, automne) et un scénario en cas de canicule. Chacun de ces scénarios permet de régler automatiquement le chauffage et la ventilation dans les locaux. Des détecteurs automatiques ont également été installés pour l'éclairage.

Toutefois, il a été constaté que ces scénarios éprouvent parfois des limites car les conditions climatiques peuvent être différentes au cours des saisons ou même variables au cours des journées. Il faut donc un réglage plus fin pour garantir le confort des usagers.

Il faut également un suivi particulier des équipements avec un réajustement des programmes qui peut aller au-delà des conditions météorologiques, en prenant en compte d'autres facteurs comme par exemple les besoins réels des usagers ou le taux d'occupation des locaux. Un suivi de la CTA (centrale de traitement d'air) a par exemple été fait, mais il s'avère que sa programmation est à revoir car la consommation de la centrale semble être constante au cours de la semaine (de jour comme de nuit) alors qu'elle devrait évoluer selon le taux d'occupation du bâtiment. Elle a toutefois été bien réglée pour le week-end car sa consommation en électricité chute drastiquement.



Figure 24 - Consommation de la CTA en février 2024

### 2.3.2.b Etude de l'installation photovoltaïque

Des panneaux photovoltaïques ont été installés sur les toits de la Cité pour avoir une production d'énergie renouvelable en tranche 1 et 3. Par manque de données dues aux travaux très récents de la tranche 3, nous allons faire une étude qui portera uniquement sur la tranche 1, pour connaître l'intérêt des panneaux et la rentabilité de l'installation. Nous ferons l'étude sur l'année 2023.

Grâce à la GTB, on sait que l'installation permet de produire jusqu'à 6 MWh en été, contre une chute de la production qui passe entre 1 à 2 MWh en hiver. Annuellement, on peut calculer sur l'année une production totale de 40,8 MWh. Or on peut également calculer la consommation totale en électricité de la tranche 1, on obtient pour l'année 2023 359 MWh. On peut donc partir du postulat que l'installation photovoltaïque permet de produire 11,4 % de la consommation annuelle de la tranche 1.

J'ai ensuite voulu étudier 2 axes différents : savoir le potentiel total de la toiture d'une part, et déterminer la rentabilité de l'installation d'autre part.

Concernant le potentiel de production supplémentaire, j'ai trouvé sur les plans de la tranche 1 (voir ci-dessous) une surface supplémentaire disponible de 60 m<sup>2</sup>. Cela correspond à un peu moins du 1/3 de la surface de l'installation existante. J'ai pu en déduire qu'en exploitant cette surface supplémentaire on pourrait alors produire 3,6 % supplémentaire. Donc en exploitant toute la surface du bâtiment, on pourrait réussir à produire 15% de la consommation d'électricité annuelle totale en énergie renouvelable.

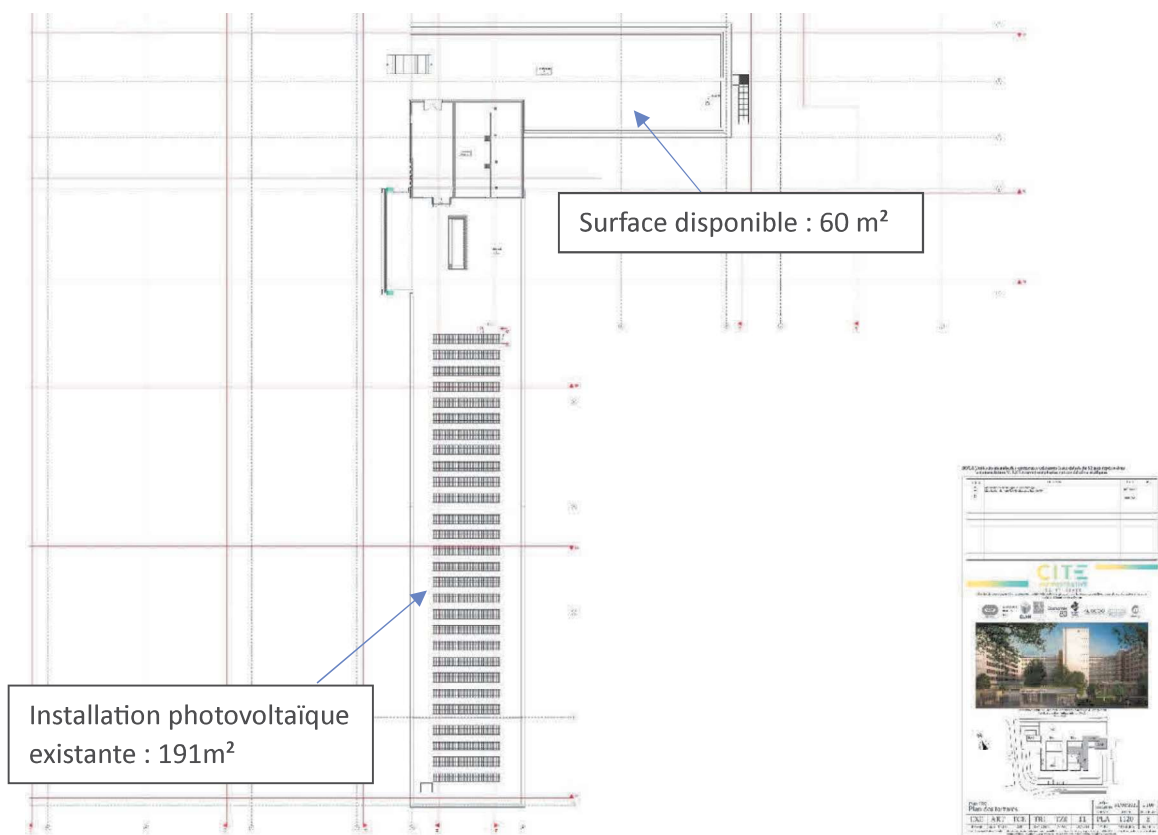


Figure 25 - Plan de la toiture TR1

Pour calculer la rentabilité de l'installation, il faut connaître le coût de l'énergie que l'on économise, le coût de l'installation et enfin sa durée de vie. Selon la fiche technique du produit, les panneaux sont garantis pour 30 ans mais avec une perte de rendement de 1% la première année puis de 0,4% par an.

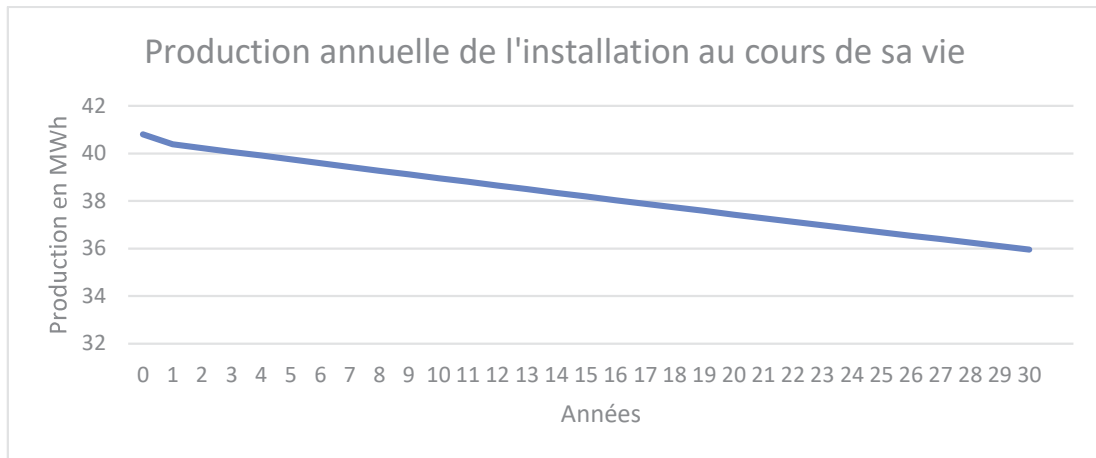


Figure 26 - Graphique de l'évolution annuelle de la production de l'installation photovoltaïque

Au bout de 30 ans, l'installation atteint donc une production de 36 MWh, soit une perte de l'ordre de 1% au final comparé aux consommations en électricité annuelle actuelle.

Concernant les coûts de l'électricité, on choisit comme donnée le coût actuel de l'électricité en France, soit 0,2516€ / kWh, bien que ce prix fluctue régulièrement et sera probablement très différent d'ici les 30 prochaines années. Le prix choisi est celui valable pour des particuliers dans leur logements, ce qui n'est pas le cas dans notre étude, car les bâtiments comme la Cité administrative ont souvent des contrats particuliers avec des prix différents.

L'économie réalisée est donc de l'ordre de 10 000€ par an, accumulé sur 30 ans. Cela représenterait ainsi une économie de l'ordre de 300 000€ au total. Toutefois, il est important de prendre en compte l'évolution importante du prix de l'électricité, qui est très variable et qui peut notamment tout à fait augmenter comme diminuer au cours des années. Quoi qu'il en soit, l'installation réalisée en tranche 1 a coûté plusieurs dizaines de milliers d'euros, donc elle est largement rentabilisée en 30 ans car l'ordre de grandeur de son prix est bien inférieur aux économies d'énergie réalisées.

Au-delà, de la production par énergie renouvelable utile pour l'environnement, l'installation est donc aussi largement rentable d'un point de vue financier. Il faudrait aussi pouvoir faire le calcul sur la tranche 2, qui ne possède pas d'installation photovoltaïque, ainsi que sur la tranche 3, plus grande que les 2 tranches précédentes et avec des panneaux un peu différents de ceux installés sur la tranche 1 car les panneaux évoluent sans cesse au cours des dernières années et sont de plus en plus performants. Leurs puissances, rendements et dimensions sont donc similaires mais pas tout à fait comparables.

On peut imaginer que l'installation a été limitée ainsi pour des raisons de coût d'investissement initiaux car il n'y a pas de raisons techniques ou pérennes particulières qui gênent l'installation. Il apparaît donc que c'est un choix que de limiter l'implantation à certaines parties de la toiture. Le travail de sensibilisation aux énergies renouvelables est donc toujours un axe très important puisqu'il peut influencer ce type de décision.

### 2.3.2 Bilan carbone

Un bilan carbone a été réalisé sur ce chantier afin d'évaluer son impact carbone durant le chantier mais aussi une fois en service car comme expliqué précédemment les ACV se réalisent sur un cycle de vie complet du bâtiment.

Ce bilan carbone a été fait en amont des travaux, durant la phase de conception, et non pas après la réalisation complète des travaux. Les données d'entrées utilisées (voir annexe 1) ont permis d'établir des émissions statiques (c'est-à-dire avec un poids égal peu importe quand elles sont émises) par lot, exprimées en Eges\_PCE (produits de construction et équipement, soit les matériaux de constructions principalement), dont l'unité est le  $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2\text{Sref}$ , dont voici un diagramme représentant les résultats :

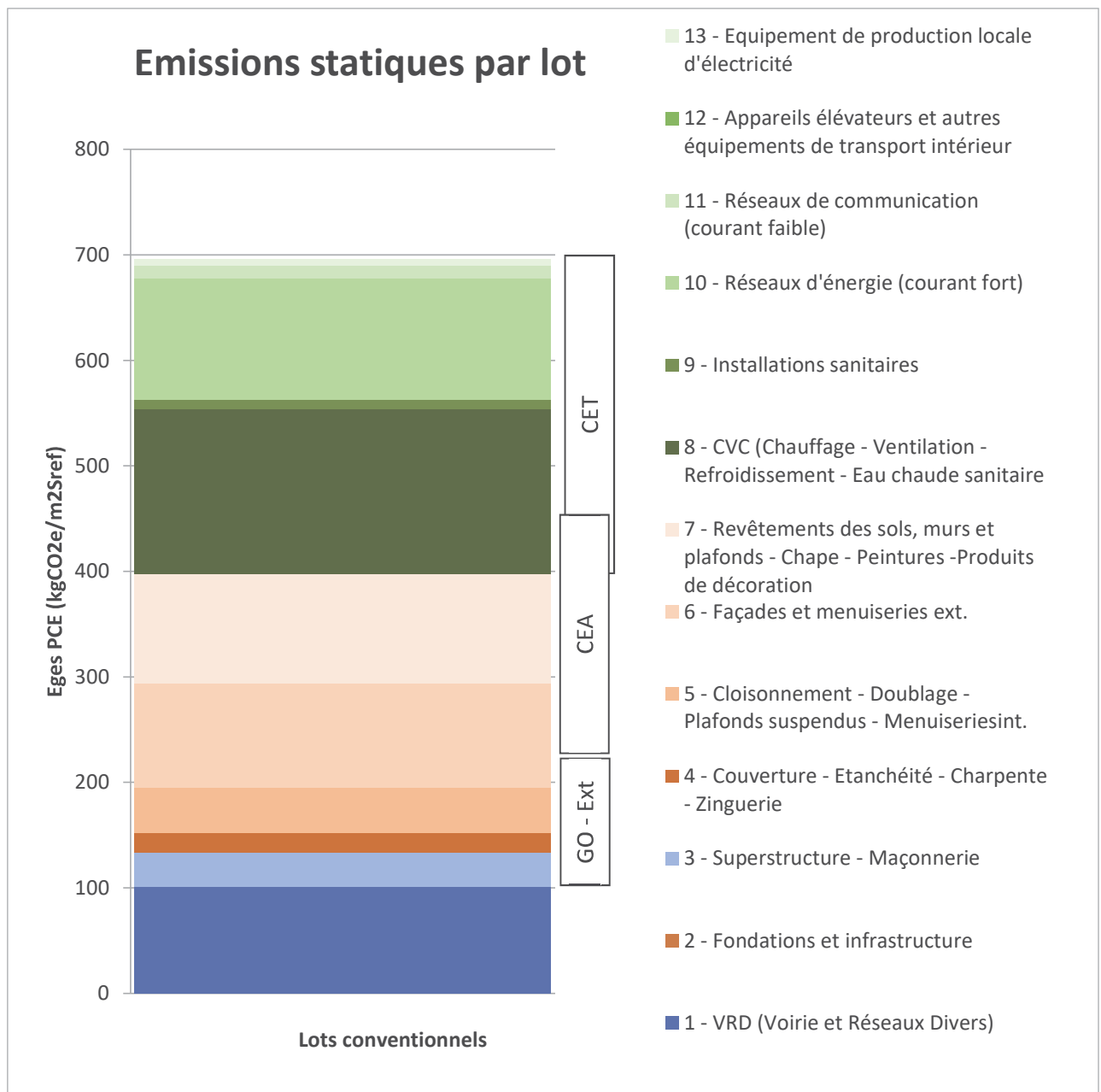


Figure 27 - Diagramme des émissions statiques par lot , en Eges PCE

On peut alors relever différents points intéressants :

- Les lots de VRD et maçonnerie - superstructure sont des émetteurs de carbone non négligeables, ce qui paraît logique car ce sont ceux qui consomment du béton durant la phase chantier. En effet, pour des questions de structure et de fonctionnement technique (regard, longrine, mur de soutènement...) ce sont des lots qui consomment quoi qu'il arrive une certaine quantité de béton et de ciment. Pour limiter les émissions de ces lots, il faut penser avec des enveloppes différentes et des structures par exemple en bois pour éviter le coulage de béton.
- Les émissions liées à la superstructure sont toutefois critiquables car ce sont des émissions statiques qui sont comptées, mais la majorité de la structure qui a été construite a été faite en bois pour l'extension du bâtiment F (photo ci-contre) ce qui permet de créer un puit de carbone (compté dans le calcul pour l'exploitation du bâtiment, donc pas en Eges\_PCE).



Figure 28 - Photographie de l'extension F

- On constate en revanche que le « lot 2 – Fondations et infrastructure » n'émet quasiment aucune émission ici car sur un chantier de rénovation comme celui-ci, les fondations et les murs extérieurs ne sont pas repris et c'est une très bonne chose d'un point de vue environnemental car c'est un des lots le plus émetteur dans les constructions neuves durant la phase chantier, c'est donc tout l'intérêt des rénovations.
- Deux autres lots très émetteurs dans ce bilan sont les CVC et les réseaux d'énergie. Leurs émissions sont notamment liées à la production des matériaux nécessaires en quantité importante (composants métalliques à fabriquer -parfois avec des métaux rares) ainsi qu'à leur transport et assemblage sur site, ainsi qu'à la fin de vie du réseau existant et notamment leur enfouissement.
- Les autres lots techniques (installation sanitaire, courant faible, ascenseurs, équipement de production locale d'électricité) sont quant à eux très peu émetteurs, notamment grâce à des efforts particuliers fournis pour justement limiter autant que possible les émissions en réutilisant une partie des équipements sur site.
- Enfin, les autres lots architecturaux qui émettent des GES (revêtement, menuiserie, cloisons...) émettent durant la production et le transport des matériaux nécessaires. Pour limiter ces émissions, il faudrait donc utiliser des matériaux locaux pour limiter les émissions de transport, ainsi que des matériaux recyclés ou réutilisés pour limiter les émissions liées à la production.

De plus, des valeurs seuils maximum à atteindre par type d'émissions ont été fixées grâce à un calcul défini par le référentiel Energie-Carbone, qui permet d'évaluer le niveau de performance énergétique et environnemental des bâtiments.

Voici le résultat sur la Cité avec en jaune les valeurs maximums à ne pas dépasser :

Valeur et seuils (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	
Eges total	1212
EGES max	1232,7
Eges PCE	658
EGES PCE max	580
Eges energie	553,1
EGES energie max	500
Eges chantier	1,1
EGES chantier max	8,7
Eges eau	NC
EGES eau max	15
Stock de Carbone Biogénique	0,9
Emissions évitées par le réemploi	NC

Figure 29 - Valeur et seuils du bilan carbone

On constate alors que même si les émissions liées au PCE et les émissions liées à l'énergie n'atteignent pas les seuils fixés par le référentiel, les émissions totales du projet, qui englobent donc celles des PCE, de l'énergie, du chantier et de l'eau, et qui décomptent le stockage de carbone, sont inférieures à la valeur maximum fixée à ne pas dépasser.

Toutefois, il apparaît que les émissions liées à l'eau ne sont pas connues donc non comptées dans le calcul. Le stockage de carbone présenté dans ce calcul est également très faible à l'échelle du chantier, mais il n'est en réalité que peu représentatif du chantier puisqu'une surface importante des terrasses et du patio a été végétalisée alors que ce n'était pas prévu dans la conception. En effet, plus de 1000m<sup>2</sup> de substrat ont été ajoutés au projet, alors que seulement 2000m<sup>2</sup> avaient été prévus pendant la conception. Il serait donc intéressant de recalculer cet indicateur après la réalisation du chantier mais le calcul pose plusieurs limites quant à la récupération des données et les valeurs de référence à suivre, définit notamment dans la méthode Label Bas Carbone pour valoriser le stockage de carbone longue durée.

Je voulais initialement reprendre ce bilan carbone, d'abord pour le détailler aussi par type de matériaux, afin de mieux comprendre quels sont les types de matériaux les plus carbonés et s'il était possible de trouver une alternative plus écologique. L'intérêt aurait aussi été de le comparer avec un bilan carbone recalculé après la phase d'exécution du chantier, pour prendre en compte les modifications de conception. Je n'ai toutefois pas réussi à établir ce bilan car après avoir consulté la personne en charge du 1<sup>er</sup> bilan carbone, il m'a expliqué que les calculs sont faits par un logiciel qui fait appel à une intelligence artificielle pour réassocier les données environnementales aux matériaux (car cela est très fastidieux de les associer manuellement) et la base de données est parfois incomplète. Il faut ensuite analyser et interpréter ces résultats mais il m'a dit que l'analyse générale et les ordres de grandeurs resteraient les mêmes.

### 2.3.3 Exigences environnementales

Afin de respecter les critères nécessaires pour obtenir le label BBC Rénovation, le groupe Albedo, qui est intervenu sur la conception environnementale du projet, a proposé de nombreuses solutions (voir annexe 2) pour répondre à des objectifs précis répartis en 5 pôles :

- Maîtrise de l'énergie
- Santé au travail
- Usage
- Environnement
- Transport et mobilité

Chacun de ces pôles doit en effet être pris en compte pour garantir un bâtiment respectueux et confortable pour ces usagers. Sans détailler l'ensemble de ces solutions, nous pouvons toutefois décrire certaines d'entre elles :

#### *Conception bioclimatique :*

Pour répondre à des performances thermiques intéressantes et à un bon confort, une conception bioclimatique de la Cité a été faite, notamment avec des murs rideaux sur les façades Nord, Est et Ouest pour permettre de valoriser au maximum l'éclairage naturel, en limitant les ouvertures au Sud pour éviter la surchauffe en période d'été. De plus, des vitrages sélectifs ont été installés afin de limiter également trop d'apport de chaleur mais en laissant la lumière passer et en garantissant ainsi des conditions de travail plus agréables.



Figure 30 - Murs rideaux (Façade Ouest à gauche, Façade Nord à droite)

Un système de free-cooling, c'est-à-dire de la ventilation naturelle, a été installé sur les menuiseries extérieures.

Le principe du système est de mesurer la température intérieure et extérieure et de s'ouvrir automatiquement lorsque c'est utile pour rafraîchir le bâtiment. L'air circule en effet grâce à la convection naturelle, donc le système ne nécessite quasiment aucune énergie, sinon celle de l'ouverture-fermeture des châssis, et également aucune présence humaine pour activer le système. Cela permet donc de rafraîchir efficacement le bâtiment, notamment la nuit en période de forte chaleur pendant que le bâtiment est vide et ainsi d'avoir une température agréable au matin.



Figure 31 - Châssis avec un dispositif de free-cooling

#### Chauffage par panneaux rayonnants :

Les panneaux rayonnants sont installés dans le faux-plafond et fonctionnent grâce à un échange thermique entre le serpentin de tubes d'eau chaude qui le parcourt et la surface du panneau, très émissive, qui va rayonner la chaleur dans la pièce.

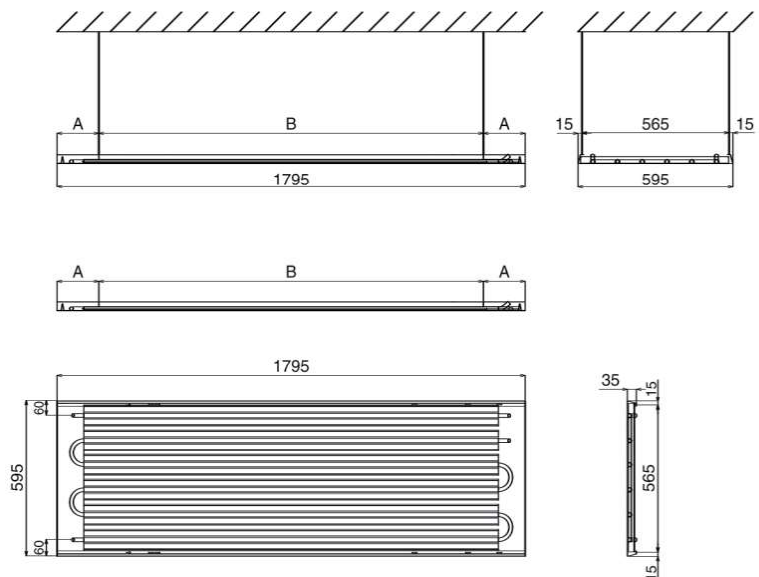


Figure 33 - Panneaux rayonnants de la Cité

Figure 32 - Schéma d'installation d'un panneau rayonnant

Voici également un plan du réseau CVC dans lequel on voit apparaître les panneaux rayonnants placés dans les bureaux :

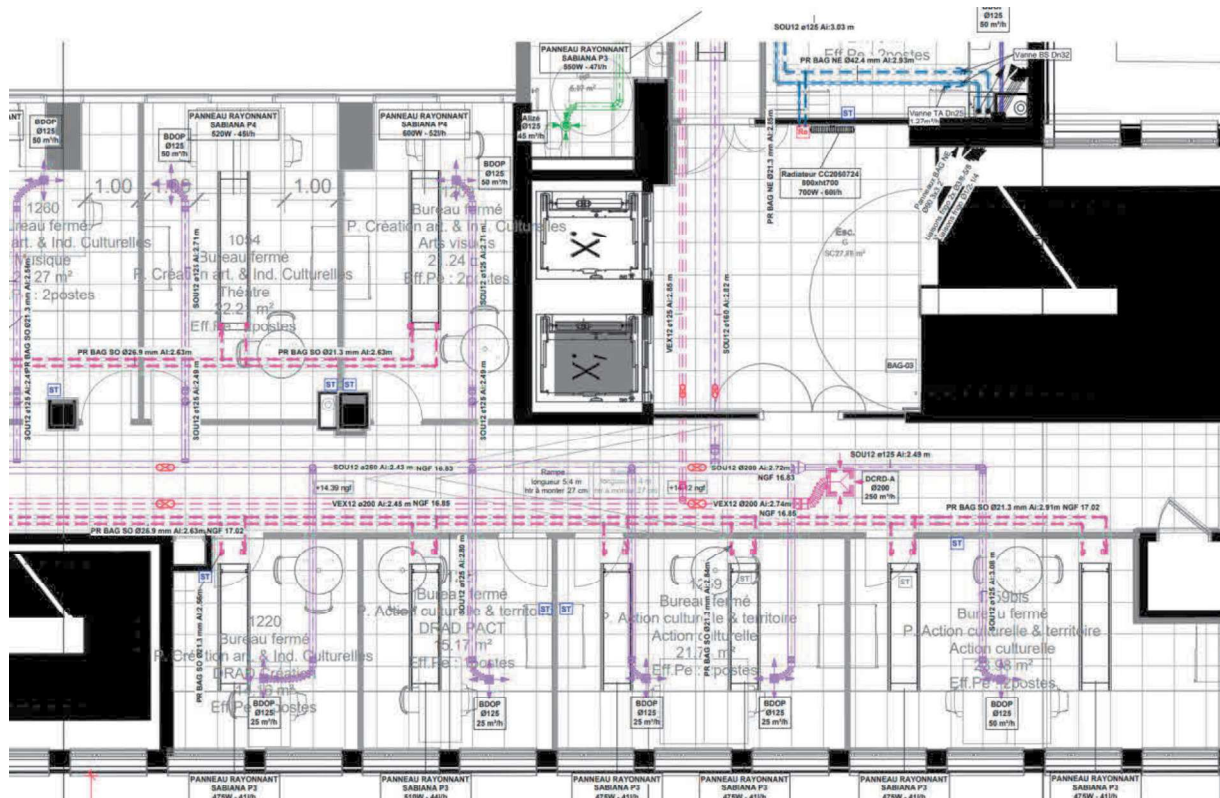


Figure 34 - Plan micro-zoning CVC du niveau 1

Les panneaux présentent de nombreux intérêts :

- Performance thermique : pas de déplacement d'air, pas d'inertie thermique, très faible gradient de température entre sol et plafond
- Réversibilité : possible de l'utiliser avec un groupe froid pour du refroidissement
- Modularité : différentes tailles de panneaux disponibles pour s'adapter au faux-plafond
- Esthétique : face visible lisse, adaptable à tous type de bâtiment
- Ergonomique : s'intègre au plafond sans utiliser d'espace supplémentaire
- Hygiène : pas de déplacement de poussière ni de microbes ou autres pollutions
- Confort : température homogène et uniforme, chauffage statique, silencieux
- Economie : pas de durée de vie limitée, fiable, pas de maintenance
- Mise en œuvre : raccordement facile et rapide

Ce système de chauffage/ refroidissement est donc très intéressant et présente également un avantage écologique puisqu'il fonctionne en comparant la température intérieure et la consigne, c'est donc un système intelligent et automatique qui permet de bien réguler les températures intérieures.

### Evolutivité des espaces :

Pour garantir la pérennité du bâtiment, l'ensemble des niveaux (du 1<sup>er</sup> au 7<sup>ème</sup>) ont été construits avec des cloisons modulaires, qui sont très simples et faciles à modifier pour pouvoir changer l'usage du bâtiment si besoin. Les réseaux et les équipements techniques ont aussi été simplifiés au maximum dans ce sens, afin d'avoir le minimum de contraintes techniques possibles en cas de réaménagement. Les réseaux sont notamment regroupés dans le faux-plafond et optimisés pour prendre le moins d'espace possible dans les étages.

Cela permet ainsi d'imaginer que le bâtiment pourrait être transformé si besoin pour d'autres usages et fonctions et ainsi éviter une restructuration complète en cas de besoin. La modularité des espaces apporte donc une garantie de vie du bâtiment sur le long terme et permettra de limiter largement les émissions en cas de travaux.



Figure 35 - Cloisons modulaires

### Label BiodiverCity :

Le label BiodiverCity est le premier label qui valorise la considération de la biodiversité dans les projets immobiliers. Ce label s'appuie sur 4 axes dont voici ci-dessous un résumé :

 A B C D E	 A B C D E	 A B C D E	 A B C D E
<b>Axe 1 :</b> <b>L'ENGAGEMENT / MAÎTRE D'OUVRAGE</b> Mener une stratégie biodiversité adaptée au projet immobilier : <ul style="list-style-type: none"><li>■ Bien connaître la biodiversité du site</li><li>■ Mettre en œuvre un programme et un cahier des charges</li><li>■ Partager son engagement et diffuser les connaissances</li></ul>	<b>Axe 2 :</b> <b>LE PROJET / MAÎTRISE D'ŒUVRE (ARCHITECTES ET CONCEPTEURS)</b> Concevoir une architecture écologique : <ul style="list-style-type: none"><li>■ Définir un « parti écologique » adapté au contexte</li><li>■ Concevoir des aménagements favorables à l'accueil du vivant</li></ul>	<b>Axe 3 :</b> <b>LE POTENTIEL ÉCOLOGIQUE/ ÉCOLOGUE</b> Optimiser le potentiel écologique du projet par rapport à son contexte urbain, périurbain, rural <ul style="list-style-type: none"><li>■ Préserver au mieux les éléments naturels existants dans le projet et le chantier</li><li>■ Maximiser les biotopes utiles et les fonctionnalités écologiques</li></ul>	<b>Axe 4 :</b> <b>L'USAGE / LES UTILISATEURS</b> Développer les services rendus, pour le bien-être des usagers : <ul style="list-style-type: none"><li>■ Mettre en scène la biodiversité sur le site</li><li>■ Offrir des services de nature pour les usagers du bâtiment</li><li>■ Optimiser les services rendus</li></ul>

Figure 36 - Les 4 axes du label BiodiverCity

Dans ce contexte, il a été pensé à la Cité plusieurs solutions pour recréer des habitats naturels. Il y a ainsi eu l'installation de nichoirs à chauve-souris (9) et à oiseaux (30) où vont notamment nicher des martinets, des mésanges et des hirondelles. Un rucher a été installé pour permettre à la fois de protéger les abeilles et de polliniser le site et ses alentours et ainsi favoriser la nature en ville. Des gabions ont également été mis en place, ainsi qu'une terrasse biotope (cailloux, tronc d'arbre...) notamment pour favoriser l'arrivée d'insectes et de lézards, . Des plantations de plusieurs espèces persistantes (arbres, arbustes, plantes couvre-sol) ainsi qu'un mini-jardin sont aussi réalisés.



Figure 37 - Nichoirs à chauve souris (à gauche) et à oiseaux (à droite)





*Figure 38 - Plantations réalisées sur l'ensemble du site*



*Figure 39 - Terrasse biotope*



*Figure 40 - Murets en gabion*

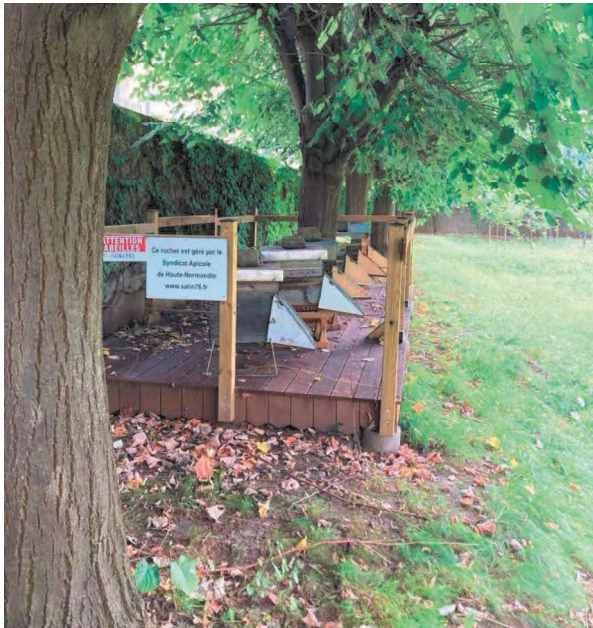


Figure 41 - Rucher (à gauche) et affichage pédagogique (à droite)

Afin de sensibiliser les usagers à cette biodiversité qui les entoure, plusieurs affichages pédagogiques ont été installés sur l'ensemble du site.

### Mobilité douce

Afin de favoriser des modes de transport doux et respectueux de l'environnement, il a également été prévu des abris à vélo pour faciliter l'arrivée des agents avec un espace sécurisé et simple d'accès. La circulation à l'extérieur a été prévue pour favoriser les piétons et laisser moins de place à la voiture. Toutefois, pour les voitures, des places de stationnement avec des bornes de recharges électriques ont aussi été installées sur le parking aérien et également dans le parking sous-terrain (environ 30 bornes au total) et servent principalement pour les voitures de fonction des agents.



Figure 42 - Bornes IRVE (à gauche) et abri à vélos (à droite)

### *Récupération des matériaux :*

Pour éviter le gaspillage et réutiliser au maximum les ressources disponibles sur site, une grande partie du mobilier existant a été donné lors de son évacuation à des associations, pour la plupart locales, afin de réutiliser à moindre coût et moindre émissions ces meubles. L'autre partie des meubles a été donné à une association humanitaire qui les a transportés dans une école en Mauritanie.

D'autre part, les matériaux utilisés pour le terrassement, notamment les gros cailloux et la terre, ont été réutilisés autant que possible afin de réaliser les gabions sur site et également pour planter la partie végétale grâce à la terre sur place quand elle était suffisamment riche et de bonne qualité.

### 2.3.4 Pistes d'optimisation

Pour améliorer encore le bilan carbone de ce projet, il aurait été pertinent d'utiliser des matériaux biosourcés, c'est-à-dire des matériaux issus de matière organique et renouvelable, et donc très peu carbonés, pour réduire le poids des émissions PCE. En effet, pour isoler le bâtiment, du polyuréthane a été utilisé par exemple pour les terrasses, mais il aurait aussi été possible d'utiliser des laines de chanvre, de liège ou des fibres de bois par exemple. Les matériaux biosourcés permettent notamment de stocker du carbone car ils utilisent le CO<sub>2</sub> pour pousser et peuvent ainsi devenir des puits de carbone.

Pour limiter les émissions liées au transport, il aurait également été possible de trouver certains matériaux produits plus localement, notamment concernant les panneaux solaires qui ont été produits en Chine et qui ont donc dû être importés.

Concernant la maintenance, il faut continuer d'optimiser au maximum le fonctionnement du système CVC afin de limiter les consommations au cours de la vie du bâtiment, ainsi que renforcer la communication pour sensibiliser au mieux les agents pour qu'ils fassent attention à leur comportement et éviter des dépenses énergétiques non nécessaires, notamment avec de la signalétique et des campagnes de communication (par exemple avec des défis, des mini-concours...).

Un meilleur tri des déchets pendant le chantier aurait pu être fait pour limiter les émissions liées au chantier car pour des raisons techniques les nombreuses bennes mises en place au cours du chantier et qui permettait de trier l'ensemble des déchets (plastique, bois, déchets toxiques, végétaux...) ont du être réduites pour réaliser les zones de VRD et espaces verts et le tri était donc très restreint à la fin du chantier.

Une partie non négligeable du béton coulé a été à l'extérieur, mais uniquement à titre décoratif (béton désactivé), il aurait donc pu être intéressant de trouver une solution différente, avec un béton plus respectueux de l'environnement par exemple, ou avec un autre type de revêtement qui aurait eu la même fonction. Concernant la structure du bâtiment, la partie neuve a été construite en bois, tandis que la partie existante a été reprise avec du béton pour des raisons techniques qu'il était difficile d'éviter.

Concernant les espaces verts, seulement une terrasse a été végétalisée dans ce projet, malgré qu'il y'en ai au total presque une dizaine, donc il aurait pu être imaginé d'installer du sédum également sur les autres terrasses, à la fois pour des raisons environnementales, en augmentant le stockage du carbone, en réduisant aussi les îlots de chaleur, mais aussi pour des raisons esthétiques et pour avoir une forme d'harmonie sur tous les bâtiments.

### 3. Conclusion

Pour répondre aux défis du changement climatique et atteindre la neutralité carbone en 2050, le secteur du bâtiment doit évoluer et réduire drastiquement la quantité de ces émissions. Pour réduire l’empreinte carbone des bâtiments tertiaires en France, il faut donc investir dans des projets de rénovations, afin d’améliorer les performances énergétiques, le confort et l’ergonomie de ces bâtiments, et pour mettre en place des principes plus respectueux de l’environnement au sens large.

Cela implique donc d’abord d’utiliser des matériaux et des systèmes plus performants, avec des nouvelles techniques plus efficaces notamment pour réduire les consommations du bâtiment. L’utilisation d’énergies renouvelables comme celle produite par des panneaux photovoltaïques se développent aussi massivement à différentes échelles (pour des bâtiments publics, des maisons individuelles, ou encore des immeubles de logements collectifs), tout comme les systèmes de récupération d’énergie.

Pour réduire l’impact carbone du bâtiment, il est également important de consommer le minimum de ressources possibles, comme l’eau, avec des systèmes de récupération d’eau par exemple facile à mettre en place. Cela s’applique aussi aux matériaux, pour éviter la production et le transport de ressources qui ne sont pas nécessaires, et qui peuvent être réutilisés ou recyclés. Il faut également consommer la plus petite surface naturelle possible, pour limiter l’artificialisation des sols (qui génère notamment des problèmes liés aux îlots de chaleur urbain), afin de préserver à la fois la biodiversité, les paysages, mais surtout en utilisant seulement ce qui est nécessaire pour éviter de détruire des zones naturelles.

D’autre part, il y a une grande sensibilisation à faire pour les usagers afin d’éviter des dépenses inutiles et adopter des comportements plus sobres. L’intérêt d’investir dans les bâtiments tertiaires est aussi de montrer l’exemple pour accélérer la rénovation massive des logements qui a déjà commencé ces dernières années mais qui est parfois difficile à faire accepter à la population. L’intérêt de proposer des bâtiments publics plus sobres et efficaces permet ainsi d’inciter à des changements de comportements.

La Cité administrative de Rouen est un projet de rénovation énergétique d’un bâtiment tertiaire, dédié à des bureaux, qui permet de mieux comprendre les avancées techniques et les méthodes mises en place à l’heure actuelle, ainsi qu’identifier leurs limites. Le projet a été conçu pour atteindre des objectifs de réductions de consommations énergétiques et des exigences environnementales qui correspondent aux scénarios nationaux. Même si l’objectif initial de réduction de 70% des consommations énergétiques n’est pas encore atteint, il faudra attendre que l’ensemble de la Cité soit en fonctionnement pour analyser justement ces nouvelles consommations.

Même si des améliorations ou des optimisations sont toujours possibles, le projet répond bien aux nouvelles exigences environnementales et montre que pour répondre aux objectifs environnementaux, ou même les dépasser, les solutions doivent être en réalité diverses et variées car même si la rénovation énergétique permet bien de réduire les consommations, elle ne suffira pas à elle seule pour atteindre les niveaux de performances recherchés. Les projets doivent donc être beaucoup plus globaux pour limiter l’impact environnemental et pas seulement thermique, en s’adaptant à des nouveaux modes de vie plus respectueux.

A terme, les projets de rénovation énergétique devront aussi se développer pour d’autres types de structures, car ils sont pour l’instant majoritairement destinés aux bureaux, mais le parc tertiaire englobe d’autres infrastructures qui auront aussi besoin de nouvelles méthodes adaptées à leur fonction pour réduire leur consommation, notamment les infrastructures sportives ou culturelles, qui ont souvent des contraintes techniques particulières, liées à l’acoustique ou l’éclairage par exemple.

# Annexes

## 1- Données d'entrée pour réaliser le bilan carbone :

- Surface de plancher : 36 800 m<sup>2</sup>
- Surface utile : 36 800 m<sup>2</sup>
- Nombre de mois d'été avec grue : 6
- Nombre de mois d'hiver avec grue : 6
- Surface végétalisée : 2 000m<sup>2</sup>
- Surface imperméable : 5 000m<sup>2</sup>
- Surface de parking extérieur : NC

## 2- Tableau des analyses des exigences environnementales :

MAITRISE DE L'ENERGIE	
Objectifs et enjeux	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Réduire la consommation d'énergie en phase de fonctionnement</li> <li>○ Intégrer les notions de conception bioclimatique</li> <li>○ Limiter les pertes thermiques en hiver</li> <li>○ Limiter les apports solaires en été</li> <li>○ Gérer le potentiel solaire</li> <li>○ Utiliser des équipements peu énergivores</li> <li>○ Limiter l'entretien/ maintenance</li> <li>○ Avoir recours aux énergies renouvelables</li> </ul>
Conception bioclimatique	Façades Est et Ouest en mur-rideau Protection solaire passive et vitrage sélectif Production d'énergie photovoltaïque Valorisation de l'évapotranspiration des terrasses Plantation d'arbres et arbustes pour limiter l'îlot de chaleur
Matériaux performants	Matériaux d'isolation avec une bonne efficacité énergétique Matériaux pérennes Structure bois
Performance thermique de l'enveloppe et des systèmes	Niveau BBC Rénovation Climatisation uniquement pour les locaux serveurs Chauffage évolutif avec peu de maintenance grâce aux panneaux rayonnants dans les bureaux Ventilation double-flux pour tous les espaces de travail Ventilation naturelle (free-cooling) Chauffage par chaudière gaz existante en appoint Réalisation d'une STD – Simulation Thermique Dynamique pour le confort d'été
Eclairage	Luminaires ou spots encastrés LED avec allumage automatique (détecteur de présence) Respect des normes d'ergonomie pour l'ambiance lumineuse Conservation des dimensions existantes de surface vitrée

Energie renouvelable	Production d'électricité par une installation photovoltaïque en autoconsommation à 100%
<b>SANTE AU TRAVAIL</b>	
Objectifs et enjeux	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Maîtrise des ambiances par les usagers</li> <li>○ Favoriser les qualités psychophysiologiques des espaces</li> <li>○ Favoriser le « bien-vivre » au travail</li> </ul>
Matériaux respectueux	Matériaux labellisés A+ sans émissions de COV Matériaux traditionnels et respectueux de l'architecture existante
Systèmes performants	Pas déplacement d'air pour le chauffage grâce aux panneaux rayonnants Gestion de l'éclairage par poste de travail
Confort	Espaces de travail vitrés Stores intérieurs et vitrages sélectifs Inconfort thermique inférieur à 3% Plafonds absorbant (acoustique) Respect des normes d'ergonomie pour la concentration Travail pour l'accueil des différents handicaps
<b>USAGE</b>	
Objectifs et enjeux	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Assurer un niveau de sécurité et sûreté adapté aux risques</li> <li>○ Être économe en moyen de fonctionnement</li> <li>○ Faciliter les accès aux installations pour faciliter l'entretien (nettoyage, maintenance)</li> <li>○ Simplifier la conception des équipements et systèmes</li> <li>○ Limiter les gênes occasionnées suite au dysfonctionnement</li> <li>○ Avoir des moyens de suivi des consommations et de contrôle des performances</li> <li>○ Assurer la gestion de l'exploitation avec une GTB couplée à une maquette BIM</li> </ul>
Potentiel de mutation	Evolutivité des espaces : cloisons modulaires, réseaux et équipements techniques simplifiés, sol désamianté pour permettre un réaménagement simplifié Travail sur la signalétique : identité visuelle Arrosage disponible sur les toitures
Maintenance / Entretien	Vidéoprotection généralisée GTB performante Protection solaire passive
<b>ENVIRONNEMENT</b>	
Objectifs et enjeux	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Eviter les filières de production à fort impact</li> <li>○ Favoriser les filières courtes</li> <li>○ Eviter les produits à impacts sanitaires</li> <li>○ Privilégier les matériaux renouvelables, recyclés, recyclables et ceux issus de chantier</li> <li>○ Limiter les nuisances et déchets de chantier</li> <li>○ Limiter les déchets et optimiser la collecte, le tri et le réemploi</li> <li>○ Limiter les émanations de fibres et de COV à l'intérieur</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Inscription dans l'environnement existant</li> <li>○ Augmenter les surfaces plantées</li> <li>○ Maintenir et développer la biodiversité existante</li> <li>○ Réduire la consommation d'eau potable</li> <li>○ Réduire l'imperméabilisation des sols</li> <li>○ Maitriser les rejets, valoriser les eaux pluviales</li> </ul>
<b>Récupération et revalorisation</b>	<p>Valorisation des eaux pluviales pour les sanitaires (au moins 50%)</p> <p>Pas d'arrosage automatique</p> <p>Equipements hydro-économiques : réservoir de chasse d'eau</p> <p>Drain hydraulique enterré pour évacuation de l'eau du parvis par infiltration</p> <p>Récupération des matériaux sur site pour créer gabion</p> <p>Redistribution de l'ensemble du mobilier à des associations locales</p> <p>Récupération des eaux pluviales pour les sanitaires et le jardin</p>
<b>Végétalisation</b>	<p>Label biodiverscity</p> <p>Espaces végétalisés avec peu d'entretien : paillage pour limiter la pousse des mauvaises herbes</p> <p>Espèces diversifiées &amp; persistantes</p> <p>Matériaux imperméables réduits &amp; valorisation de l'évapotranspiration (toitures végétalisées)</p>
<b>Biodiversité</b>	<p>Gabion pour créer des habitats pour les lézards</p> <p>Terrasse biotope (rocher, tronc d'arbre, cailloux...) : recréation d'habitat naturel</p> <p>Installation de nichoirs à chauve-souris, hirondelles et mésanges</p> <p>Surface de plantations augmentées par rapport à l'existant</p> <p>Paillage végétal</p>
<b>Matériaux</b>	<p>Tri des déchets sur chantier par bennes adaptées (emballage, électronique, déchets dangereux, bois, fermentescible)</p> <p>Matériaux avec étiquettes environnementales A+</p> <p>Fiches FDES fournies</p>
<b>TRANSPORT ET MOBILITE</b>	
<b>Objectifs et enjeux</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Donner la priorité aux mobilités durables</li> <li>○ Permettre les déplacements faciles (quel que soit le moyen de transport)</li> <li>○ Assurer une bonne lisibilité des espaces</li> <li>○ Optimiser et favoriser les transports non polluants</li> </ul>
<b>Handicap</b>	<p>Prise en compte de toutes les formes de déficiences</p> <p>Bande de guidage podotactile</p> <p>Place de stationnement PMR</p> <p>Signalétique et cheminement adaptée</p>
<b>Transport</b>	<p>Mobilité douce : abri à vélo</p> <p>Accès piétons pour le public et les agents</p> <p>Stationnement électrique</p>

# Bibliographie

---

[1] Marc Lomazzi. France 2050 : RCP8.5 Le scénario noir du climat. Albin Michel, 2023. 288p.

ADEME. « Performance énergétique du parc tertiaire : quel bilan de l'utilisation de la plateforme OPERAT en 2022-2023 ? » La librairie ADEME. <https://librairie.ademe.fr/7242-performance-energetique-du-parc-tertiaire-quel-bilan-de-l-utilisation-de-la-plateforme-operat-en-2022-2023-.html>.

— — — . « Plateforme OPERAT ». <https://operat.ademe.fr/#/public/resources>.

Bouygues Bâtiment Grand-Ouest. « Nos références ». <https://www.bouygues-batiment-grand-ouest.fr/nos-references>.

Cerema. « Bâtiments tertiaires : un objectif de 40% de réduction des consommations dans 10 ans et une obligation d'affichage ». <http://www.cerema.fr/fr/actualites/batiments-tertiaires-objectif-40-reduction-consommations-10>.

— — — . « Comment évaluer l'impact carbone dans les projets de rénovation des bâtiments ? Etat des lieux des méthodes et pratiques actuelles en France ». <http://www.cerema.fr/fr/actualites/comment-evaluer-impact-carbone-projets-renovation-batiments>.

— — — . « Eco énergie tertiaire : plus de 740 Millions de m2 de locaux soumis aux obligations du dispositif ». <http://www.cerema.fr/fr/actualites/eco-energie-tertiaire-plus-740-millions-m2-locaux-soumis-aux>.

— — — . « RE2020 : Calculer l'impact carbone d'un bâtiment » <http://www.cerema.fr/fr/actualites/re2020-calculer-impact-carbone-batiment>.

CERTIVEA. « HQE Bâtiment en Rénovation ». *Certivéa* (blog). <https://certivea.fr/certifications/hqe-b-en-renovation/>.

*Décryptage du mois : Le décret tertiaire, 2022.* <https://www.youtube.com/watch?v=5Z9-5hVDy04>.

ENGIE. « Loi ÉLAN : qu'est-ce que le Décret Tertiaire ? » ENGIE, 29 mai 2020. <https://entreprises-collectivites.engie.fr/actualites/loi-elan-et-decret-renovation-tertiaire-qui-est-concerne-quels-objectifs/>.

FF Bâtiment. « Les obligations d'économies d'énergie dans les bâtiments tertiaires ». <https://www.ffbatiment.fr/techniques-batiment/reglementation-construction/reglementation-thermique-environnementale/dossier/les-obligations-d-economies-d-energie-dans-les-batiments-tertiaires>.

Inies. « Inies, les données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment et la RE2020 ». <https://www.inies.fr/>.

Légifrance. « Décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire ». <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000038815368/2019-07-31/>.

Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. « Ce qui change pour le secteur de la construction », s. d.

— — —. « Chiffres clés du climat - France, Europe et Monde - Édition 2023 ». Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-du-climat-france-europe-et-monde-edition-2023>.

— — —. « COP28 : 28e Conférence des Parties sur les changements climatiques ». Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. <https://www.ecologie.gouv.fr/cop28-presentation>.

— — —. « Éco Énergie Tertiaire (EET) ». Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. <https://www.ecologie.gouv.fr/eco-energie-tertiaire-eet>.

— — —. « Énergie dans les bâtiments ». Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. <https://www.ecologie.gouv.fr/energie-dans-batiments>.

— — —. « Énergie finale économisée dans les secteurs résidentiel et tertiaire - Suivi des indicateurs de la SNBC ». Suivi des indicateurs de la stratégie nationale bas-carbone, 13 août 2020. <https://indicateurs-snbc.developpement-durable.gouv.fr/energie-finale-economisee-dans-les-secteurs-a68.html>.

— — —. « France Relance - les chiffres de la Seine-Maritime ». <http://cartographie-plan-de-relance.portail-die.fr/batiments?datasetid=departements&field=code&value=76&zoom=8.88&centerlng=1.1368&centerlat=49.5121&selected=regions:16,departements:81>.

— — —. « Investissement en faveur du climat dédiés à la rénovation énergétique de l'ensemble du parc résidentiel et tertiaire - Suivi de la SNBC ». Suivi des indicateurs de la stratégie nationale bas-carbone, 28 juillet 2020. <https://indicateurs-snbc.developpement-durable.gouv.fr/investissement-en-faveur-du-climat-dedies-a-la-a67.html>.

— — —. « Loi portant évolution du logement de l'aménagement et du numérique (Elan) ». Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. <https://www.ecologie.gouv.fr/loi-portant-evolution-du-logement-lamenagement-et-du-numerique-elan>.

— — —. « Observatoire de la Performance Énergétique et Environnementale ». <https://re-batiment2020.cstb.fr/opee/statistiques>.

— — —. « Réglementation environnementale RE2020 ». Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. <https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-environnementale-re2020>.

— — —. « Répartition sectorielle des émissions de CO2 dans le monde ». Chiffres clés du climat 2022. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat-2022/7-repartition-sectorielle-des-emissions-de-co2-dans-le-monde.php>.

— — —. « Scénarios et projections climatiques ». Chiffres clés du climat 2022. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat-2022/3-scenarios-et-projections-climatiques.php>.

— — —. « Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) ». Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>.

— — —. « Tableau de bord : solaire photovoltaïque - Statistique du premier trimestre 2023 ». Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les

transports. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/tableau-de-bord-solaire-photovoltaique-premier-trimestre-2023-0>.

Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, Commissariat général au développement. « Émissions de GES du résidentiel et du tertiaire ». Chiffres clés du climat 2022. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat-2022/13-emissions-de-ges-du-residentiel-et-du-tertiaire.php>.

NF. « NF Bâtiments Tertiaires associée ou non à la marque HQE et/ou au label HPE (NF380) ». *NF* (blog), 19 septembre 2016. <https://marque-nf.com/categories/nf-batiments-tertiaires-associee-non-a-marque-hqe-etou-label-hpe-nf380/>.

ONRE. « Le parc de logements par classe de performance énergétique au 1er janvier 2023 », 2023.

ONU. « Sixième rapport d'évaluation du GIEC : changement climatique 2022 | UNEP - UN Environment Programme », 28 février 2022. <https://www.unep.org/resources/rapport/sixieme-rapport-devaluation-du-giec-changement-climatique-2022>.

Vie publique. « Zéro artificialisation nette (ZAN) : comment protéger les sols ? », 29 novembre 2023. <https://www.vie-publique.fr/eclairage/287326-zero-artificialisation-nette-zan-comment-protger-les-sols>.