

Rapport d'alternance

Etude de la consommation énergétique des collèges
publics de la Mayenne

Auteur : SY Omar Saip

Université de Rennes

Faculté des Sciences Economiques

Master 2 Mathématiques Appliquées, Statistique
parcours Sciences des Données, Statistique,
Econométrie

Promotion : 2023/2024

Période d'alternance : 01/09/2023 au 31/08/2024

Tutrice universitaire : PAYELLE Nathalie

Conseil Départemental de la MAYENNE

16 Rue Albert Einstein, 53000, Laval

Tutrice entreprise :

HERVE Amélie, chargée de la gouvernance
des données

Remerciements

Voilà une excellente occasion de remercier,

Le Conseil Départemental de la Mayenne qui m'a offert la possibilité de suivre la formation du Master en Science des données, Statistiques, Économétries et ainsi, de recueillir ce mémoire.

Amélie Hervé, chargée de la gouvernance des données, pour sa patience, sa gentillesse, son attention et son soutien constant tout au long de mon travail avec elle. Elle a été un mentor et un modèle pour moi, et je suis reconnaissant de l'avoir rencontrée. J'ai appris beaucoup de choses sur la gestion des données et les projets data grâce à elle, ce qui a renforcé mes compétences professionnelles.

Nathalie Payelle ma tutrice universitaire pour ses conseils sur le processus d'écriture et la méthodologie du livrable ainsi que l'équipe pédagogique de l'Université de Rennes dont Isabelle Cadoret.

Christophe Forgin, directeur de la transformation et de l'innovation et Angélique Bergeron, directrice adjointe de la transformation et de l'innovation. Je suis reconnaissant de l'opportunité qu'il m'a donnée de travailler sur des projets data stratégiques pour le Département, qui ont renforcé mes compétences professionnelles et m'ont permis d'en apprendre davantage sur la démarche à suivre pour réussir un projet.

Sébastien Brizé, chef du service infrastructure et exploitation, Tom Houdayer, administrateur sécurité et réseau et Zainab Messoudi, ingénieure supports applicatifs, pour m'avoir accordé leur temps et partagé leurs connaissances précieuses avec moi.

Guillaume Salaun, conseiller technique bas carbone, qui m'a assisté dans la collecte et l'analyse des données carbone.

Lila Huet, chargée de missions déchets, énergie et mobilité et Thibault Deparis, économiste de flux. Ils sont les personnes qui me fournissent activement des connaissances et un accès aux données de consommation énergétique.

Enfin, merci à toutes les personnes qui m'ont aidé et conseillé lors de cette expérience professionnelle, notamment lors de la rédaction de ce rapport.

Sommaire

Sommaire	1
Table d'illustrations	2
Liste des abréviations	4
Introduction	5
Partie 1 : Etude de la consommation énergétique des collèges du CD53	8
1.Cadre et Méthodologie : Enjeux de l'étude et Base de Données	8
1.1. Les enjeux de l'étude des consommations énergétiques des collèges du CD53	8
1.1.1. Contexte et projets du CD53	8
1.1.2. Les collèges au sein de la politique de maîtrise de la consommation énergétique du CD53	11
1.1.3. Axes d'analyse	15
1.2. Base de données	16
1.2.1. Création de notre base de données	16
1.2.2. Traitement des données	19
1.2.3. Résumé de la base de données	23
1.3. Bilan	23
2.Consommation et coûts énergétiques des collèges du CD53	25
2.1. Evolution et répartition de la consommation énergétique	26
2.2. Evolution et répartition des coûts liés à la consommation d'énergie	34
2.3. Emissions de CO2 liées à la consommation d'énergie	41
2.4. Bilan	43
3.Optimisation et Prévision Énergétique des Collèges du CD53	44
3.1. Modélisation	44
3.1.1. Sélection de modèle(s)	48
3.1.2. Interprétation du (des) modèle (s) choisi (s)	52
3.1.3. Pistes d'amélioration pour réduire la consommation d'énergie des collèges	55
3.2. Prévisions de la consommation d'énergie des collèges et des dépenses associées	56
3.3. Bilan	58
Partie 2 : Bilan d'activité	61
1.Présentation de la collectivité	61
1.1. Le Conseil départemental de la Mayenne	61
1.2. La Direction de la Transformation et de l'Innovation	62
1.3. La gouvernance des données	64
2.Tâches réalisées	66
2.1. Formation	66
2.2. Mission Bas carbone du département de la Mayenne	66
2.3. Mission Sobriété énergétique du Conseil départemental de la Mayenne	68
3.Bilan	70
Conclusion	71
Références	73
Annexe n°1 : Coefficient de détermination	76
Annexe n°2 : Erreur absolue moyenne	77
Annexe n°3 : Racine de l'erreur quadratique moyenne	78
Résumé	79

Table d'illustrations

Figure 1: Localisation des collèges publics de la Mayenne.....	11
Figure 2: Table de jointure des données sources	18
Figure 3: Evolution et répartition de la consommation d'énergie des collèges du CD53 de 2018 à 2023	26
Figure 4: Evolution et répartition des dépenses en énergies des collèges du CD53, par type d'énergie.....	34
Figure 5: Evolution du prix de l'électricité et du gaz, de 2018 à 2023	34
Figure 6: Evolution du prix du GP	37
Figure 7: Evolution du prix du FOD depuis 2018	38
Figure 8: Evolution du prix du RCU depuis 2002	39
Figure 9: Evolution des émissions de CO2 lié à la consommation énergétique des collèges du CD53.....	41
Figure 10: Histogramme de la distribution des résidus	50
Figure 11: QQ-plot des résidus.....	50
Figure 12: Graphique de l'autocorrélation des résidus	51
Figure 13: Nuage de points de points des résidus par rapport aux valeurs prédites	51
Figure 14: Schéma des SHAP values du modèle.....	53
Figure 15: Graphique de comparaison entre les dépenses énergétiques prédites et réelles	56
Figure 16: Graphique de comparaison entre les consommations énergétiques prédites et réelles	56
Figure 17: Prévision des dépenses énergétiques des collèges du CD53, de 2024 à 2040 ..	57
Figure 18: Prévision de la consommation énergétique des collèges du CD53, de 2024 à 2040	57
Figure 19: Organigramme du CD53	61
Figure 20: Organigramme de la DRE	61
Figure 21: Organigramme de la DTI.....	62
Figure 22 : Tableau de bord bas carbone (2/2)	67
Figure 23: Tableau de bord bas carbone (1/2)	67
Figure 25 : Tableau de bord de suivi de la consommation des sites du CD53 (2/2).....	69
Figure 24: Tableau de bord de suivi de la consommation des sites du CD53 (1/2).....	69
KPIs 1: KPIs descriptifs sur la consommation en GN	27
KPIs 2: KPIs descriptifs sur la consommation en électricité des collèges du CD53	28
KPIs 3: KPIs descriptifs sur la consommation en GP des collèges du CD53.....	29
KPIs 4: KPIs descriptifs sur la consommation en FOD des collèges du CD53.....	30
KPIs 5: KPIs descriptifs sur la consommation en RCU des collèges du CD53	31
KPIs 6: KPIs descriptifs sur la consommation en PF des collèges du CD53	32
KPIs 7: KPI descriptif des dépenses en GN	35
KPIs 8: KPI descriptif des dépenses en électricité des collèges du CD53	36
KPIs 9: KPI descriptif des dépenses en GP des collèges du CD53.....	37
KPIs 10: KPI descriptif des dépenses en FOD des collèges du CD53.....	38
KPIs 11: KPI descriptif des dépenses en RCU des collèges du CD53.....	39
KPIs 12: KPI descriptif des dépenses en PF des collèges du CD53	40
Tableau 1: Tableau de conversion de l'énergie consommée en émissions de CO2	22
Tableau 2: Tableau d'évolution de la consommation d'énergie des collèges publics du CD53 de 2018 à 2023	26

Tableau 3: Tableau d'évolution de la consommation de GN des collèges publics du CD53, de 2018 à 2023	27
Tableau 4: Tableau d'évolution de la consommation d'électricité des collèges du CD53, de 2018 à 2023	28
Tableau 5: Tableau d'évolution de la consommation de GP des collèges du CD53, de 2018 à 2023	29
Tableau 6: Tableau d'évolution de la consommation de FOD des collèges du CD53, de 2018 à 2023	30
Tableau 7: Tableau d'évolution de la consommation de RCU des collèges du CD53, de 2018 à 2023	31
Tableau 8: Tableau d'évolution de la consommation de PF des collèges du CD53, de 2018 à 2023	32
Tableau 9: Top 10 des collèges ayant le plus consommé de l'énergie.....	33
Tableau 10: Tableau d'évolution des dépenses en GN des collèges du CD53	35
Tableau 11: Tableau d'évolution des dépenses en électricité des collèges du CD53	36
Tableau 12: Tableau d'évolution des dépenses en GP des collèges du CD53	37
Tableau 13: Tableau d'évolution des dépenses en FOD des collèges du CD53	38
Tableau 14: Tableau d'évolution des dépenses en RCU des collèges du CD53	39
Tableau 15: Tableau d'évolution des dépenses en PF des collèges du CD53	40
Tableau 16: Top 10 des collèges ayant le plus dépensé en énergie	40
Tableau 17: Top 10 des collèges ayant le plus émis du CO2 lié à leur consommation	42
Tableau 18: Tableau des métriques des modèles testés	48
Tableau 19: La feuille de route de la mission de la gouvernance des données au CD53..	65

Liste des abréviations

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie

BEGES : Bilan d'Emissions de Gaz à Effet de Serre

CD53 : Conseil Départemental de la Mayenne

CO2 : Dioxyde de carbone

COP-21 : 21^e Conférence de Paris

DJU : Degré Jours Unifiés

DRE : Direction des Ressources et Enseignements

DTI : Direction de la Transformation et de l'Innovation

FOD : Fioul Domestique

GES : Gaz à Effet de Serre

GN : Gaz Naturel

GP : Gaz Propane

KPI : Key Performance Indicator (Indicateur de performance)

MAE : Mean Absolute Error (Erreur Absolue Moyenne)

ONU : Organisation des Nations Unies

PDSE : Plan Départemental de Sobriété Energétique

PF : Plaquettes Forestières

PPI : Plan Pluriannuel d'Investissement

R2 : Coefficient de détermination

RCU : Réseau Chauffage Urbain

RMSE : Root Mean Square Error (Racine de l'Erreur Quadratique Moyenne)

RNE : Répertoire National des Etablissements

SaaS : System as a Service (Logiciel en tant que service)

SDIE : Schéma Directeur Immobilier Energétique. Ce schéma intègre l'élaboration d'audits énergétiques sur le patrimoine bâti du CD53 afin de pérenniser l'effort d'investissement pour la rénovation énergétique et de faciliter l'atteinte des objectifs à 2050 du Décret tertiaire (sur la réduction de la consommation énergétique)

SEGPA : Section d'Enseignement Général et Professionnel Adapté

SI : Système d'Informations

ULIS : Unité Localisée pour l'Inclusion Scolaire

TVA : Taxe sur la Valeur Ajoutée

Introduction

La consommation énergétique est un enjeu central pour les établissements publics en France, notamment dans le contexte actuel de crises énergétiques et de transition vers des sources d'énergie plus durables. Les collèges, en tant qu'institutions éducatives, jouent un rôle crucial dans cette dynamique, à la fois en termes de consommation directe et en tant que vecteurs de sensibilisation et d'éducation aux enjeux énergétiques.

Depuis la révolution industrielle, nos modes de vie et nos systèmes économiques ont largement dépendu de l'accès à des sources d'énergie abondantes et peu coûteuses, principalement issues des combustibles fossiles. Cette dépendance a conduit à des crises énergétiques récurrentes, exacerbées récemment par des facteurs géopolitiques et climatiques.

Par conséquent, les émissions de gaz à effet de serre ont très fortement augmenté, surtout celles de dioxyde de carbone (CO₂), amplifiant puissamment le mécanisme naturel de conservation de chaleur, avec une hausse sensible des températures à la clé. Afin de contenir au mieux la menace du réchauffement climatique, 184 pays membres de l'ONU se sont entendus en 1995 pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ce fameux « **protocole de Kyoto** », entré en vigueur à partir de 2005, prévoyait d'ici 2012 de réduire d'au moins 5% les émissions totales par rapport à 1990. Ce protocole a évolué pour donner naissance à la COP-21¹ qui a pour objectif de parvenir à limiter le réchauffement climatique à 1,5°.

C'est dans cette optique de réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre, que le gouvernement français a mis en place l'[Article L229-25](#) du [Code de l'environnement](#). Cet article stipule :

« 1.-Sont tenus d'établir un bilan de leurs émissions de gaz à effet de serre : 3° L'Etat, les régions, les départements, les métropoles, les communautés urbaines, les communautés d'agglomération et les communes ou communautés de communes de plus de 50 000 habitants ainsi que les autres personnes morales de droit public employant plus de deux cent cinquante personnes... Ce bilan d'émissions de gaz à effet de serre et ce plan de transition sont rendus publics. Ils sont mis à jour tous les quatre ans pour les personnes mentionnées aux 1° et 2° et tous les trois ans pour les personnes mentionnées au 3°... Les bilans des émissions de gaz à effet de serre des personnes mentionnées au 3° portent sur leur patrimoine et sur leurs compétences. » (Légifrance, 2023)

Face à cette situation, le gouvernement français a lancé un Plan de Sobriété Énergétique ambitieux visant à réduire la consommation d'énergie de 10 % par rapport à 2019, entre 2022

¹ [COP-21](#)

et 2024. Cet objectif impose des défis considérables à tous les secteurs, y compris l'éducation. Les collèges doivent donc trouver des moyens efficaces pour optimiser leur consommation énergétique, réduire les coûts et minimiser leur empreinte carbone.

Dans ce contexte et en cohérence avec sa démarche qui vise la neutralité carbone d'ici 2040, le Conseil Départemental de la Mayenne (CD53) se doit de participer à l'effort national entrepris. A ce titre, le département met en œuvre un projet ambitieux qui comprend différentes mesures visant la réduction des consommations d'énergie du département et de son patrimoine. Pour y parvenir, le CD53 a élaboré un tableau de bord de suivi de la consommation de gaz et d'électricité de ses sites. Cependant, les collèges sont absents de ce suivi, car le CD53 n'a pas la main sur leurs données de consommation énergétique. Par conséquent, le département a besoin de connaître la consommation d'énergie des collèges publics ainsi que les dépenses associées. En effet, ils font partie du patrimoine du département, donc ils sont financés par le CD53. Ce qui fait d'eux des cibles de ce projet.

Cela nous amène à nous poser les questions suivantes : Quel est le niveau actuel de consommation énergétique des collèges du CD53 ? Comment réduire leur consommation énergétique ? Quel sera l'impact de ses réductions sur les dépenses énergétiques ?

La réponse à ces problématiques permettra non seulement d'avoir une vue sur la consommation des collèges publics du département, mais aussi de contribuer à la transition énergétique nationale en réduisant leur consommation d'énergie et en diminuant les émissions de gaz à effet de serre. De plus, les stratégies d'optimisation identifiées pourront servir de modèle pour d'autres collèges publics et privés, amplifiant ainsi les bénéfices de cette recherche.

Ce rapport se compose de deux parties principales. La première partie se concentre sur l'étude des consommations énergétiques des collèges publics de la Mayenne. Elle vise à analyser les données de consommation, identifier les collèges les plus énergivores, proposer des pistes d'amélioration pour réduire la consommation énergétique des collèges du département et prédire l'impact de ces améliorations sur les dépenses énergétiques.

Dans un premier chapitre, nous examinerons les enjeux de l'étude des consommations énergétiques des collèges, en présentant le contexte actuel de la crise énergétique et ses implications pour le secteur éducatif. Nous soulignerons l'importance de cette étude dans le cadre des objectifs nationaux de transition écologique. Nous présenterons aussi les collèges étudiés, la méthodologie utilisée pour créer notre base de données, les étapes de traitement des données et fournirons un résumé complet de notre base de données.

Le deuxième chapitre sera dédié à l'analyse des données de consommation énergétique des collèges. Nous visualiserons ces données pour comprendre l'évolution et la répartition des consommations énergétiques, identifier les collèges les plus consommateurs et analyser les coûts liés à l'énergie.

Enfin, dans le troisième chapitre, nous proposerons des pistes d'amélioration basées sur une modélisation rigoureuse des données énergétiques. Nous évaluerons la performance des différents modèles, choisirons le(s) modèle(s) le(s) plus pertinent(s) et interpréterons les résultats pour identifier des stratégies efficaces de réduction de la consommation d'énergie. Nous discuterons des implications de ces stratégies et présenterons des prévisions des coûts liés à l'énergie selon différents scénarios d'amélioration ou non.

La deuxième partie présente un récapitulatif des missions et tâches réalisées au sein du CD53 durant la période d'alternance. Cette partie débute par une présentation de l'entreprise, ses structures et la gouvernance des données. Ensuite, elle détaille les tâches spécifiques accomplies dans le cadre des projets « Bas Carbone » et « Sobriété Énergétique ». Enfin, un bilan de l'activité réalisée est proposé, permettant de faire un point sur les enseignements tirés de cette expérience.

En structurant notre recherche de cette manière, nous espérons fournir une analyse détaillée et des recommandations pratiques pour améliorer l'efficacité énergétique des collèges, contribuant ainsi aux objectifs nationaux de sobriété énergétique et à la durabilité environnementale.

Partie 1 : Etude de la consommation énergétique des collèges du CD53

La consommation énergétique des établissements scolaires est un enjeu majeur pour les collectivités territoriales en France. Dans le contexte actuel de crises énergétiques et d'efforts accrus pour la transition vers des sources d'énergie plus durables, il est essentiel de comprendre et d'optimiser l'utilisation de l'énergie dans les collèges. Cette partie se concentre sur l'étude des consommations énergétiques des collèges publics du département de la Mayenne. L'objectif est d'analyser les données de consommation énergétique, identifier les établissements les plus énergivores et proposer des pistes d'amélioration pour réduire la consommation. En outre, cette étude vise à contribuer aux efforts nationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la promotion de pratiques énergétiques durables. Cette partie présente les enjeux de l'étude, la méthodologie utilisée pour la collecte et le traitement des données, et propose une analyse détaillée des résultats obtenus ainsi que des solutions de réduction de la consommation d'énergie.

1. Cadre et Méthodologie : Enjeux de l'étude et Base de Données

1.1. Les enjeux de l'étude des consommations énergétiques des collèges du CD53

1.1.1. Contexte et projets du CD53

Depuis la révolution industrielle, nos modes de vie sont basés sur un accès facile à des sources d'énergies abordables. Ce modèle énergivore s'est généralisé grâce aux combustibles fossiles qui représentent aujourd'hui environ 80 % de la production mondiale d'énergie primaire.

Nous connaissons régulièrement des crises énergétiques². Celle que nous traversons actuellement est inédite car de nombreux experts affirment qu'elle est au moins aussi grave que les chocs pétroliers des années 70. Elle est le résultat de la conjonction de plusieurs facteurs : la reprise économique mondiale (et donc l'augmentation de la demande en énergie), après la récession liée à la pandémie de Covid-19 de 2020 ; le conflit russo-ukrainien qui, depuis mars 2022, plonge les marchés du pétrole et du gaz dans une période de fortes incertitudes en menaçant la sécurité d'approvisionnement. Pour rappel, en 2021, on avait constaté : 45 % des importations de gaz naturel de l'Union européenne provenaient de Russie ; une disponibilité en électricité moins évidente du fait d'une réduction de la production d'origine nucléaire et hydraulique, en raison des sécheresses, de l'augmentation des températures et d'opérations de

² [Choc pétrolier 1973-1979](#) [Choc pétrolier 2008](#) [Choc pétrolier 2022](#)

maintenance importantes ; une augmentation de la demande d'énergie en raison d'hivers plus rigoureux et à de canicules plus fréquentes.

Cela se traduit par une augmentation des prix à des niveaux sans précédent pour le gaz, le pétrole et l'électricité, avec désormais un effet de report sur le charbon mais aussi sur les granulés bois. Cette évolution défavorable vient ainsi aggraver l'inflation déjà à l'œuvre, bousculer la vie des entreprises et les modèles économiques établis, tout en provoquant des tensions sociales dans les pays les plus impactés. Les énergies fossiles sont devenues un enjeu géopolitique entre l'Union européenne, la Russie, les États-Unis, mais également la Chine. Ainsi, au cours de l'hiver 2022/2023 et des saisons qui suivront, la France fera face à des risques importants sur le réseau électrique pouvant mener à des blackouts temporaires locaux ou généralisés ; des risques de pénuries de gaz naturel et de pétrole ; la poursuite de l'augmentation du coût de l'énergie.

Afin de répondre à cette onde de choc dont nous ne percevons pas encore aujourd'hui tous les effets, mais également d'éviter les risques de pénurie évoqués, le Gouvernement a lancé un grand Plan de Sobriété Energétique³ qui devra s'appliquer dès l'automne 2022. Il s'agit pour la France, dans les deux ans qui viennent, de fournir un effort de réduction des consommations d'énergie de 10 % par rapport à l'année 2019.

Cet objectif est extrêmement ambitieux. En effet, il vise à réduire les consommations énergétiques de 10% en deux ans à peine, ce qui correspond à la moitié de l'objectif (- 20 %) fixé sur 11 ans par le Paquet Energie Climat 2020⁴.

Dans ce contexte et en cohérence avec sa démarche « **la Mayenne engagée pour le climat** », qui vise la neutralité carbone d'ici 2040, le Conseil départemental se doit de participer à l'effort national entrepris.

A ce titre, il est proposé de mettre en œuvre dès la fin septembre 2022, un **Plan Départemental de Sobriété Energétique (PDSE)**, faisant ainsi du Département une des toutes premières collectivités de France à initier un programme aussi ambitieux.

C'est parce qu'il a engagé une démarche « **bas carbone** », avec la réalisation en 2021, d'un Bilan d'Emission de Gaz à Effet de Serre (BEGES) que le département a pu disposer d'une bonne connaissance de ses consommations énergétiques et donc imaginer rapidement des actions de sobriété. Ainsi, en 2019, année représentative des activités du CD53 avant la crise sanitaire, les consommations énergétiques les plus importantes du département étaient celles des bâtiments (représentant 50,2 % des consommations totales d'énergie du Département) ; des

³ [Circulaire n° 6363-SG](#)

⁴ [Parquet Energie Climat 2020](#)

déplacements et du transport (représentant 49,8 % des consommations totales d'énergie du Département).

Afin de réduire ses consommations et donc sa facture énergétique, il y a un enjeu fort sur le chauffage des bâtiments, sur l'utilisation diffuse d'électricité (éclairage, eau chaude sanitaire, ventilation, etc.), ainsi que sur les consommations des véhicules professionnels et les trajets domicile - travail.

La sobriété énergétique consiste à réduire la consommation d'énergie par un usage approprié, sans excès et à mutualiser des équipements consommateurs d'énergie. Elle est à distinguer de l'efficacité énergétique qui concerne essentiellement la performance des équipements avec lesquels nous consommons de l'énergie.

Symboliquement, le PDSE a pour vocation à être mis en œuvre dès l'automne 2022. Il compte 53 mesures visant la réduction des consommations d'énergie du Département. Ces mesures sont réparties par axes et objectifs :

- **Axe 1 : Sensibilisation, communication et incitation**

Sensibiliser aux écogestes les élus et les agents du Département ; Sensibiliser aux mobilités durables les élus et les agents du Département

- **Axe 2 : Gestion de l'énergie en situation de crise**

Déplacer ses usages en dehors des heures de fortes consommations ; Réduire momentanément les consommations d'énergie

- **Axe 3 : Réduction des consommations énergétiques du patrimoine**

Optimiser la régulation du chauffage des bâtiments du Département et des collèges ; Réduire le gaspillage d'électricité dans les bâtiments du Département et les collèges ; Améliorer le suivi énergétique du patrimoine bâti ; Développer la sobriété numérique

- **Axe 4 : Réduction de l'utilisation des carburants par les mobilités durables**

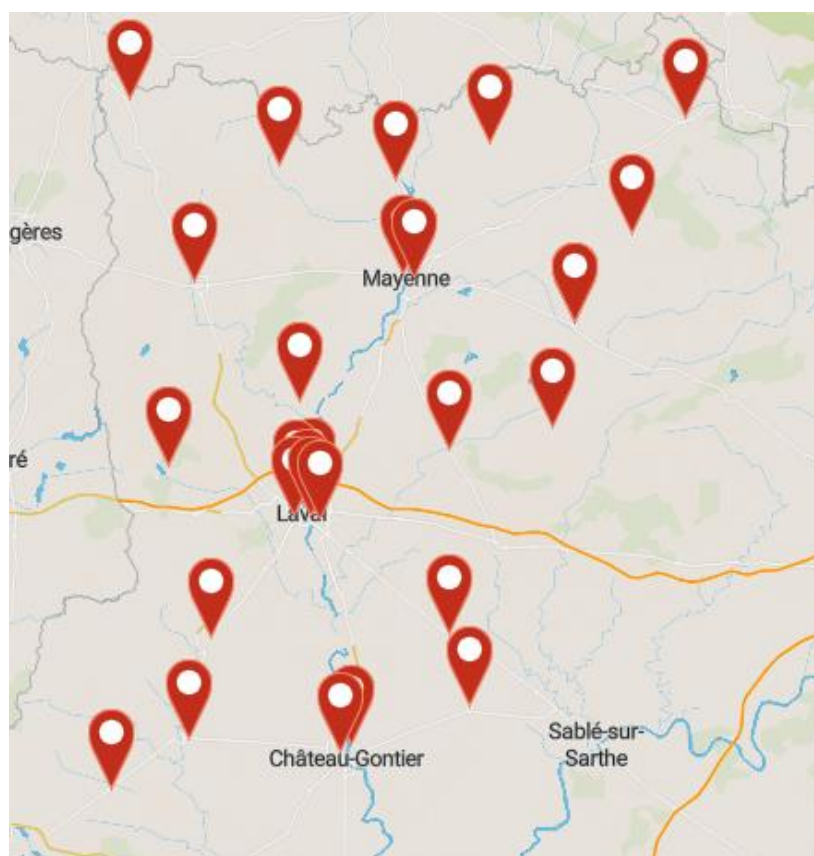
Accompagner le développement de la mobilité évitée ; Proposer une alternative aux véhicules thermiques pour les trajets domicile-travail ; Proposer une alternative aux véhicules thermiques pour les déplacements professionnels ; Encourager le partage des véhicules entre les agents du Département

C'est dans le cadre de l'axe 3 (**Réduction des consommations énergétiques du patrimoine**) que notre étude entre en jeu afin de pouvoir proposer au département des solutions viables pour ce projet.

1.1.2. Les collèges au sein de la politique de maîtrise de la consommation énergétique du CD53

La collectivité compte 27 collèges publics dont elle est en charge. La répartition de ces établissements est illustrée par la carte ci-jointe, qui localise chaque collège, permettant de visualiser les zones de densité éducative ainsi que les éventuels secteurs moins desservis

Figure 1: Localisation des collèges publics de la Mayenne



Les collèges du département peuvent accueillir de 300 à 700 élèves en fonction de chaque établissement, reflétant la diversité des environnements éducatifs offerts, allant de contextes plus intimes à des structures plus importantes. Le plus ancien de ces collèges a été ouvert en 1965 et le plus récent en 1989, illustrant ainsi une riche diversité historique qui enrichit le paysage éducatif du département. Cette diversité témoigne de l'évolution du département dans son ambition de faciliter l'accès aux études, offrant un mélange harmonieux de traditions pédagogiques et d'innovations modernes. Les collèges sont répartis sur l'ensemble du département, assurant une couverture géographique complète et permettant à un maximum d'élèves de bénéficier d'une éducation de qualité proche de leur domicile.

En termes de structures et de ressources, chaque collège possède des caractéristiques spécifiques. La surface des bâtiments varie considérablement, certains établissements disposant

de vastes terrains et d'infrastructures étendues. De plus, certains collèges sont dotés de SEGPA (26% des collèges), qui offrent un soutien adapté aux élèves ayant des besoins éducatifs particuliers. Certains collèges abritent également des sections sportives spécialisées, permettant aux élèves de concilier études et pratique intensive d'un sport (26% des collèges). La présence d'ULIS dans certains collèges (55.5% des collèges) montre un engagement fort pour l'inclusion et l'égalité des chances. De plus, certains collèges offrent des hébergements pour le personnel (11% des collèges), facilitant ainsi leur logement et leur intégration dans la communauté scolaire.

En ce qui concerne les infrastructures énergétiques, les collèges utilisent divers modes de chauffage, avec une variété de types d'énergie pour les chaudières, allant du gaz naturel à l'électricité en passant par les énergies renouvelables. Un nombre croissant de collèges a également réalisé des audits énergétiques pour mieux comprendre et maîtriser leur consommation, illustrant un engagement en faveur de l'efficacité énergétique et de la durabilité environnementale.

Le département compte un total de 9039 élèves inscrits dans les collèges publics en 2023, démontrant l'importance et l'impact de ces établissements sur la communauté locale. Cette présentation générale des collèges publics du département met en lumière les principales caractéristiques et les atouts de ces établissements, offrant une base solide pour les analyses plus détaillées des performances qui seront explorées dans la suite du rapport. L'intégration de tous ces collèges dans l'académie de Nantes assure une cohérence dans les programmes éducatifs et les normes académiques, facilitant également la collaboration entre les établissements pour les initiatives départementales et régionales. Globalement, cette vue d'ensemble illustre non seulement la diversité et la richesse du paysage éducatif départemental, mais aussi l'engagement continu en faveur de l'excellence académique et de l'innovation pédagogique.

Place des collèges dans le PDSE

Le PDSE intègre plusieurs actions spécifiques pour les collèges, visant à réduire leur consommation d'énergie et à promouvoir des pratiques durables. Les collèges sont dotés de capteurs sophistiqués permettant d'identifier les gaspillages énergétiques. Ces capteurs mesurent et analysent en temps réel les gaspillages énergétiques des bâtiments, notamment en ce qui concerne le chauffage. Avec l'appui d'un bureau d'études, les données recueillies sont utilisées pour optimiser la régulation des systèmes de chauffage, permettant ainsi de réduire les pertes d'énergie et d'améliorer l'efficacité énergétique globale. Des campagnes de sensibilisation

sont organisées pour encourager les écogestes et promouvoir les mobilités durables. Ces initiatives visent à éduquer et à responsabiliser tant les agents que les élèves des collèges sur l'importance de réduire leur empreinte énergétique. Les écogestes incluent des actions simples comme éteindre les lumières en quittant une salle, débrancher les appareils non utilisés et adopter des comportements éco-responsables au quotidien. En parallèle, des ateliers et des programmes éducatifs sur les mobilités durables, tels que l'utilisation de transports en commun ou de vélos, sont mis en place pour inciter à des déplacements plus respectueux de l'environnement. Pour les déplacements professionnels des agents, des vélos à assistance électrique sont ajoutés au pool de véhicules du Département. Cette mesure non seulement réduit la dépendance aux véhicules motorisés traditionnels, mais elle favorise aussi une culture de la mobilité douce et durable. En encourageant l'utilisation de vélos à assistance électrique, les collèges participent activement à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à l'amélioration de la qualité de l'air. Ces actions de sobriété énergétique sont renforcées par un engagement fort en termes d'efficacité énergétique, matérialisé par un programme d'investissement ambitieux pour la rénovation énergétique des bâtiments. Ce programme vise à moderniser les infrastructures des collèges en améliorant l'isolation thermique, en renouvelant les systèmes de chauffage et de climatisation et en intégrant des technologies énergétiques innovantes et durables. En effet, le Plan Pluriannuel d'Investissements (PPI) collèges consacre 2 M€ par an (sur 5 M€) à la rénovation énergétique des collèges (isolation thermique, changement de mode de chauffage, photovoltaïque).

En somme, les collèges occupent une place stratégique dans le PDSE, non seulement en réduisant leur propre consommation d'énergie mais aussi en servant de modèle et de vecteur de sensibilisation pour toute la communauté éducative. Cette approche holistique, combinant technologie, éducation et infrastructure, permet de créer un environnement scolaire plus durable et énergétiquement responsable.

Les enjeux attachés à la connaissance et la maîtrise de la consommation énergétique des collèges

Les enjeux attachés à la connaissance et à la maîtrise de la consommation énergétique des collèges sont multiples et cruciaux pour atteindre les objectifs de durabilité et de sobriété énergétique. Une connaissance précise de la consommation énergétique permet d'identifier les sources de gaspillage et les opportunités d'optimisation. Cela inclut l'analyse détaillée des usages énergétiques. Une meilleure compréhension de ces aspects permet d'implémenter des solutions techniques adaptées, (telles que l'installation de capteurs, l'élaboration de tableau de

bord de suivi, etc.) pour surveiller et contrôler en temps réel la consommation énergétique, optimisant ainsi la régulation des systèmes de chauffage et de climatisation. En second lieu, maîtriser la consommation énergétique des collèges contribue à réduire les coûts opérationnels, libérant ainsi des ressources financières qui peuvent être réinvesties dans d'autres aspects de l'éducation. Cela a également un impact direct sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, alignant les établissements scolaires avec les objectifs de transition écologique et de lutte contre le changement climatique.

En outre, une gestion énergétique efficace permet de prolonger la durée de vie des équipements et des infrastructures en évitant les surcharges et les dysfonctionnements liés à une utilisation excessive ou mal régulée. Cette approche proactive permet également d'anticiper les besoins futurs et de planifier des investissements judicieux dans les technologies émergentes et les solutions renouvelables. En impliquant les élèves et le personnel dans la gestion énergétique, les collèges peuvent également créer un environnement d'apprentissage pratique où la durabilité et la sobriété énergétique sont intégrées dans le quotidien scolaire, contribuant ainsi à former une génération plus consciente des enjeux environnementaux.

De plus, la connaissance et la maîtrise de la consommation énergétique sont essentielles pour répondre aux exigences réglementaires croissantes en matière de performance énergétique des bâtiments. Les collèges qui parviennent à réduire leur consommation d'énergie peuvent améliorer leur image et leur attractivité auprès des parents et des élèves. La transparence dans la gestion énergétique renforce également la confiance de la communauté et démontre un engagement concret en faveur du développement durable.

En résumé, la connaissance et la maîtrise de la consommation énergétique des collèges sont des leviers indispensables pour atteindre des objectifs de durabilité, d'économies financières et d'engagement écologique. Elles permettent non seulement de réaliser des économies et de réduire l'empreinte carbone, mais aussi de créer un cadre éducatif exemplaire, préparant les élèves à devenir des citoyens responsables et engagés envers la protection de l'environnement. Une gestion énergétique bien maîtrisée est donc un investissement stratégique pour le présent et l'avenir des établissements scolaires.

1.1.3. Axes d'analyse

Les enjeux attachés à la connaissance et à la maîtrise de la consommation énergétique des collèges soulignent l'importance de comprendre en détail les habitudes de consommation pour pouvoir les optimiser. À cette fin, il est essentiel de disposer d'outils d'analyse précis qui permettent d'évaluer les différentes dimensions de la consommation énergétique. Cela conduit naturellement à définir des axes d'analyse structurés pour examiner ces aspects de manière approfondie et ciblée.

Pour mieux appréhender et optimiser la consommation énergétique des collèges du département, nous avons identifié plusieurs axes d'analyse essentiels. Tout d'abord, l'analyse de la consommation énergétique globale permettra de mesurer la quantité totale d'énergie utilisée par l'ensemble des établissements, offrant ainsi une vue d'ensemble de leur empreinte énergétique. Ensuite, nous examinerons la consommation par source d'énergie, ce qui nous permettra de comprendre la répartition entre les différentes sources. Cette segmentation est cruciale pour identifier les opportunités spécifiques de transition vers des sources d'énergie plus durables. En parallèle, la visualisation des dépenses liées à la consommation énergétique fournira des informations sur les coûts associés à l'utilisation de ces énergies, facilitant ainsi l'identification des domaines où des économies peuvent être réalisées. Enfin, la visualisation des émissions de CO₂ liées à la consommation énergétique est un aspect indispensable pour évaluer l'impact environnemental des collèges. En mesurant les émissions de gaz à effet de serre, nous pouvons non seulement établir une base de référence pour les initiatives de réduction des émissions, mais aussi suivre les progrès réalisés dans le cadre des objectifs de transition écologique.

Ensemble, ces axes d'analyse offriront une compréhension approfondie et multidimensionnelle de la consommation énergétique, permettant de prendre des décisions éclairées et d'élaborer des stratégies efficaces pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire l'empreinte carbone des collèges du département.

1.2. Base de données

1.2.1. Création de notre base de données

La mise en place de notre base de données représente une étape fondamentale dans la réalisation de notre étude. En effet, les données nécessaires à notre analyse étaient dispersées dans divers jeux de données. Nous avons entrepris le processus de collecte, de traitement et d'intégration de ces données sources, veillant à la cohérence et à la fiabilité de notre base de données finale. Ce travail méticuleux de compilation et de validation des données a été essentiel pour établir une fondation solide et fiable pour notre analyse ultérieure.

Les données sources

Nous disposons de six ensembles de données sources, chacun comprenant une variété d'informations distinctes et essentielles pour notre étude. Ces ensembles de données, constituant la base de notre analyse, sont les suivants :

- « **Ref_collèges** »⁵ : Ce jeu de données est le référentiel de tous les collèges du département de la Mayenne (privés et public). Il est créé et maintenu par le ministère de l'Éducation Nationale, représentant une ressource robuste et exhaustive pour notre analyse. Malgré ses informations abondantes, nous avons sélectionné celles qui sont les plus pertinentes et nécessaires pour notre étude. Ces colonnes retenues fournissent un éventail complet d'informations générales sur les collèges, notamment leur adresse, leur année d'ouverture, ainsi que les services qu'ils proposent, offrant ainsi une vue complète et détaillée de ces établissements.
- « **Annexe_batiment** » : Ce jeu de données est maintenu par la Direction des Bâtiments du CD53. Pour optimiser notre analyse, nous avons sélectionné avec soin les colonnes les plus pertinentes et essentielles à nos besoins spécifiques. Ces colonnes conservées contiennent une mine d'informations détaillées sur les bâtiments des collèges, englobant des aspects tels que le nombre de bâtiments, leur surface, le mode de chauffage utilisé, ainsi que l'année de leur construction, offrant ainsi un aperçu complet et détaillé de l'infrastructure physique de ces établissements scolaires.
- « **Capacite_accueil** » : Comme son nom l'indique, il contient, pour chaque collège public du département, sa capacité d'accueil.
- « **Effectifs** » : Ce jeu de données renferme les effectifs détaillés de chaque collège public, couvrant une période étendue de l'année scolaire 2009/2010 à 2021/2022. Il

⁵ [Référentiel des collèges de la Mayenne](#)

convient de noter que les données relatives à l'année 2023 sont disponibles dans le référentiel des collèges. Cette base de données offre ainsi une perspective historique sur l'évolution démographique des collèges au fil des années.

- « **Système_de_regul** » : Ce jeu de données est une précieuse source d'informations dédiées au système de régulation thermique de chaque collège. Nous avons minutieusement sélectionné les colonnes essentielles pour répondre à nos besoins spécifiques d'analyse. Ces colonnes retenues fournissent des détails précis sur le système de chauffage de chaque collège, notamment en révélant le nombre de chaudières utilisées, le type d'énergie employé pour alimenter ces chaudières, ainsi que leur puissance respective. Cette sélection de données permet une compréhension approfondie des infrastructures thermiques des établissements scolaires.
- « **Conso_nrj** » : Ce jeu de données constitue une source exhaustive d'informations sur la consommation énergétique et ses coûts associés, détaillés par type d'énergie et par date, pour chaque collège. Couvrant une période étendue de janvier 2018 à décembre 2023, il offre une vue complète et chronologique de l'évolution de la consommation énergétique au fil du temps. Il est à noter que toutes les colonnes de ce jeu de données ont été conservées, soulignant ainsi son importance cruciale dans le cadre de notre analyse. En tant que pilier central de notre étude, ce jeu de données revêt une importance capitale pour éclairer nos évaluations et nos recommandations en matière de gestion énergétique dans les établissements scolaires.

Chacune de ces données a une importance capitale pour notre étude. Cependant, leur dispersion dans différents jeux de données nous contraint à les fusionner pour créer une base de données unifiée. Ce qui facilite ainsi une analyse cohérente et complète. La création de cette base de données consolidée constitue donc une étape incontournable pour garantir le succès et la pertinence de notre étude.

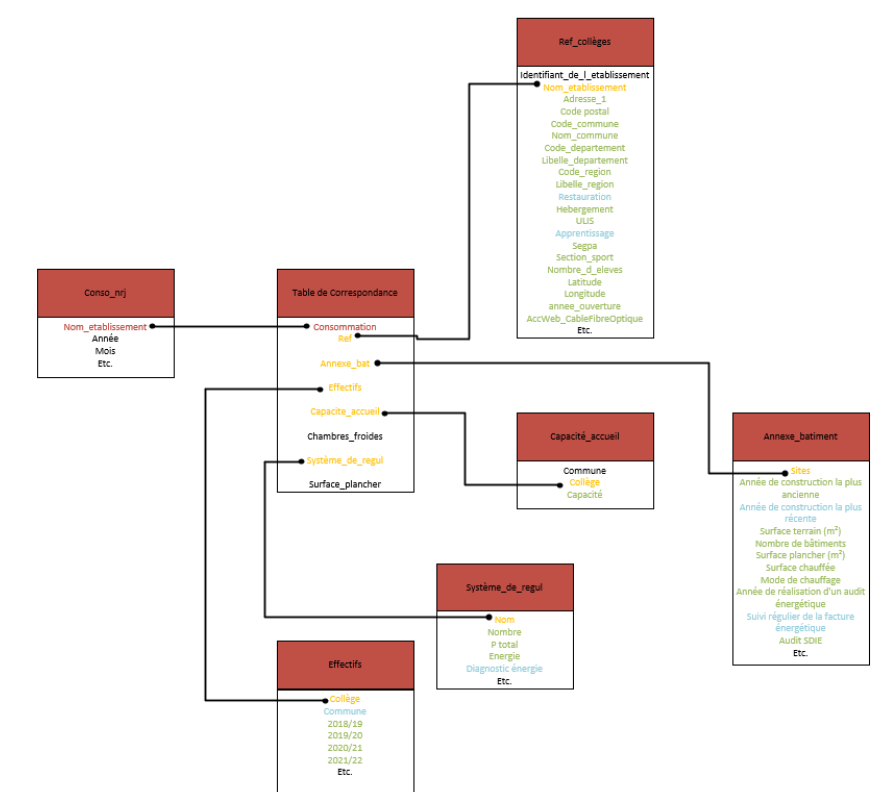
Les jointures

La réalisation de cette étape s'est avérée extrêmement laborieuse, en raison notamment de la disparité des nomenclatures utilisées pour désigner les collèges d'un jeu de données à l'autre. De plus, nous avons identifié l'absence d'une clé de jointure commune, telle que le code du Répertoire National des Etablissements (RNE), ce qui a rendu indispensable la création d'une table de correspondance entre les différentes nomenclatures des collèges utilisées dans chaque jeu de données.

Pour se faire, nous avons pris comme référence la nomenclature du jeu de données "Conso_nrj". Grâce à cette table de correspondance, nous avons mis en œuvre une méthode rigoureuse dans Excel, utilisant d'abord une fonction "RECHERCHEV" pour localiser la nomenclature du jeu de données dont nous souhaitons extraire l'information, puis une seconde fonction "RECHERCHEV" pour récupérer les données pertinentes dans le jeu de données correspondant. Ce processus complexe et minutieux a été essentiel pour garantir la cohérence et l'intégrité de notre base de données consolidée.

Vous pourrez voir, ci-après, la table de jointure.

Figure 2: Table de jointure des données sources



Rouge : clé jointure de la première RECHERCHEV

Orange : clé de jointure de la seconde RECHERCHEV

Vert : informations extraites

Bleu : informations non utilisées

Ce travail aboutit à l'obtention de notre base de données finale.

Données obtenues

À partir de l'intégration de six jeux de données et d'une table de correspondance méticuleusement élaborée, nous parvenons à construire une base de données complète,

comprenant au total 1933 lignes et 55 colonnes (dont 11 sont dédiées à la géolocalisation des collèges). La quantité conséquente de lignes s'explique par le fait que les données pour chacun des 27 collèges couvrent une période allant de janvier 2018 à décembre 2023. Par conséquent, les informations générales sur les collèges, les surfaces et les modes de chauffage sont répliquées sur cette période. Cette duplication est justifiée par le fait qu'il n'y a pas eu d'évolution de ces données entre 2018 et 2023.

Une fois achevées les étapes de collecte, de traitement et de jointure des données, il devient impératif de procéder à des traitements supplémentaires et à des vérifications approfondies pour identifier toute irrégularité potentielle.

1.2.2. Traitement des données

Le traitement de données constitue une phase essentielle où il est impératif de mener une analyse approfondie des données disponibles, en explorant leur contenu et leur contexte avec attention. De plus, il est nécessaire de réfléchir de manière critique aux éventuels problèmes ou anomalies présents dans les données, afin de les comprendre pleinement et de prendre les mesures nécessaires pour les traiter efficacement. Cette étape cruciale contribue à garantir la qualité et la fiabilité des données utilisées dans notre étude, posant ainsi les bases d'une analyse robuste et éclairée.

Traitement de données manquantes

Le traitement de données, comme mentionné précédemment, est une étape fondamentale dans toute étude basée sur une base de données. Une part importante de ce processus est la gestion des données manquantes. Ce qui nous amène naturellement à aborder la question du traitement de ces données incomplètes.

L'absence du collège F. PUECH dans les jeux de données "Annexe_bat" et "Effectifs" est remarquée, engendrant une perte d'informations capitales pour notre analyse. Nous avons donc pris la décision de le supprimer de notre base de données (on se retrouve donc avec 26 collèges). Nous avons décidé d'opérer ainsi car notre base de données contient 11 colonnes qui proviennent de ces 2 bases de données (soit 20% des colonnes), ce qui n'est pas anodin. Toutefois, le fait d'opter pour un traitement différent n'est pas forcément un mauvais signe car cela dépend de l'utilité finale de la base de données. Nous pensons quand même que c'est ce traitement qui est le plus adapté pour notre cas, sachant que ce collège sera remplacé par un

autre en 2027 et les informations manquantes de ce collège s'avéreront cruciales pour les propositions de solution de réduction de la consommation d'énergie.

Nous avons pris la décision de remplacer les données manquantes relatives aux consommations et coûts d'énergie par des valeurs nulles. Cette approche s'appuie sur notre constatation que les données de consommation d'énergie (et par extension les coûts associés), sont détaillées par type d'énergie. Ainsi, lorsque certaines données sont manquantes, cela indique généralement que le collège concerné n'a pas consommé ce type d'énergie à la date spécifiée. Toutefois, il est important de considérer que cette absence de données pourrait également résulter d'un manquement dans la saisie des factures énergétiques par les responsables de cette tâche au sein des établissements. Compte tenu des défis inhérents à l'identification précise des raisons de l'absence de données pour certaines périodes, nous avons adopté l'hypothèse selon laquelle une absence de données est synonyme de consommation nulle. Nous avons fait le même traitement pour le nombre de chaudières et leur puissance. En effet, si ces données sont absentes, nous supposons qu'il n'y a pas de chaudière, d'où le remplacement par 0.

En outre, nous avons pris la décision de supprimer les consommations d'énergie affichant des valeurs négatives. Cette démarche découle de notre constatation selon laquelle ces valeurs négatives peuvent être attribuées à des erreurs de saisie. Cependant, il est important de reconnaître que ces valeurs peuvent également résulter d'un changement de compteur ou d'une facture de régularisation, ce qui fausserait l'interprétation des données. Ainsi, en supprimant les consommations d'énergie négatives, nous nous efforçons de garantir l'intégrité et la fiabilité de nos analyses.

Après avoir fait ces traitements, il nous a fallu associer, à chaque variable de la base de données, sa catégorie.

Typage des données

Dans le but de consolider la cohérence et la pertinence de notre analyse, nous avons entrepris une démarche rigoureuse visant à attribuer à chaque variable de notre base de données sa catégorie respective. Cette initiative a nécessité une réflexion approfondie sur la nature intrinsèque des données ainsi que sur leur potentiel impact sur notre étude. En déployant ces stratégies de traitement de données, notre objectif premier était d'assurer la qualité, la fiabilité et la pertinence des informations utilisées dans notre analyse.

Cette phase de traitement exige une compréhension approfondie de la composition de notre base de données. Nous avons constaté que celle-ci était principalement composée de variables

numériques et catégorielles. Il a donc été nécessaire d'identifier préalablement celles catégorielles et de les transformer en ce type de données.

En examinant de plus près notre base de données, nous avons recensé un total de 9 variables catégorielles, 26 variables numériques, 11 variables de géolocalisation, 1 variable textuelle (le nom du collège) et 8 variables non utilisées.

Parmi les variables catégorielles, nous avons fait le choix d'inclure le mois en tant que catégorie distincte (par exemple : janvier, février, etc.), afin de mieux appréhender les variations saisonnières des données et de faciliter l'interprétation du modèle que l'on élaborera plus tard.

Pour ce qui est des variables numériques, aucun typage n'a été nécessaire.

Quant aux variables de géolocalisation, elles ont principalement été utilisées dans le cadre de la cartographie, enrichissant ainsi notre analyse par une dimension spatiale.

Néanmoins, malgré la complétion de cette étape de typage des données, nous avons ajouté d'autres variables nécessaires à notre étude en combinant judicieusement celles déjà existantes, afin d'explorer de nouvelles dimensions des données et d'enrichir davantage notre analyse.

Ajout de variables

Après une analyse minutieuse des variables existantes, nous avons entrepris une série d'opérations visant à affiner notre ensemble de données en vue d'une modélisation précise. Dans cette optique, nous avons introduit une nouvelle variable cruciale, dénommée "Energie_totale", destinée à servir de pilier lors de nos analyses ultérieures. Cette variable, conçue pour capturer la totalité de la consommation énergétique des collèges, est calculée à l'aide de la formule :

$$Energie_{totale} = \sum_{type} Consommation_{type}$$

Ici, le terme "Type" représente les différents types d'énergie. Grâce à cette formule, nous obtenons une vue holistique de la consommation d'énergie.

De plus, nous avons créé une variable indicatrice nommée « Renovation ». En effet, cette variable prend pour valeur 1 si l'année de construction la plus récente est supérieure à l'année de construction la plus ancienne et elle prend pour valeur 0 dans le cas contraire.

Parallèlement à cette avancée significative, nous avons élargi la portée de notre base de données en intégrant une nouvelle dimension cruciale : "Emission_CO2". Cette variable, créée sur la base d'hypothèses solides, cherche à capturer les émissions de CO2 générées par les différents modes de chauffage utilisés dans les collèges.

Pour une meilleure lisibilité et pour encadrer nos hypothèses de manière transparente, un tableau de correspondance détaillé est présenté ci-dessous, éclairant ainsi le processus de création de ces variables essentielles.

Tableau 1: Tableau de conversion de l'énergie consommée en émissions de CO₂⁶

Energie	Taux de conversion
Bois - Bûches	30 gCO ₂ / kWhPCI
Bois - Granulés	30 gCO ₂ / kWhPCI
Bois - Plaquettes forestières	24 gCO ₂ / kWhPCI
Bois - Plaquettes d'industrie	24 gCO ₂ / kWhPCI
Charbon (tous types)	385 gCO ₂ / kWhPCI
Chauffage urbain	Défini par arrêté pour chaque réseau de chaleur (100 gCO ₂ /kWhPCI)
Electricité (sans usage) *	64 gCO ₂ / kWh
Fioul domestique, fioul carburant	324 gCO ₂ / kWhPCI
Gasoil	324 gCO ₂ / kWhPCI
Gaz liquéfié (butane, propane, GPL)	272 gCO ₂ / kWhPCI
Gaz naturel	227 gCO ₂ / kWhPCI
Huile végétale	84 gCO ₂ / kWhPCI
SP95, SP98	309 gCO ₂ / kWhPCI

Ainsi enrichie et structurée, notre base de données est désormais prête à servir de fondement robuste à notre étude à venir, offrant une vue détaillée et exhaustive de la consommation énergétique et des émissions de CO₂ qui lui sont liées dans les collèges.

⁶ [Source du tableau](#)

1.2.3. Résumé de la base de données

Après avoir franchi les différentes étapes de collecte, de jointure et de traitement de données, nous aboutissons finalement à une base de données exhaustive, représentée par 1851 lignes et 57 colonnes. Ces données sont celles de 26 collèges publiques (sur 27). À l'intérieur de cette matrice de données, nous dénombrons 15 variables en chaîne de caractères et 42 variables numériques, offrant ainsi une variété riche pour notre analyse.

Ces colonnes renferment une mine d'informations essentielles, allant du nom du collège et de son identifiant RNE jusqu'aux précieuses données de géolocalisation, en passant par des détails sur les infrastructures du bâtiment, le nombre d'élèves inscrits, la capacité d'accueil, ainsi que des données détaillées sur les systèmes de chauffage et les différentes facettes de la consommation énergétique, y compris les coûts associés et les émissions de gaz à effet de serre.

Cette structure exhaustive de notre base de données nous offre une toile de fond solide et détaillée pour mener notre étude de manière rigoureuse. Avec ces données à notre disposition, nous sommes confiants de pouvoir explorer en profondeur les différents aspects liés à la consommation énergétique des collèges publics du département.

1.3. Bilan

Le chapitre met en lumière plusieurs points essentiels et fait ressortir l'importance de la base de données créée pour cette analyse. Le PDSE constitue un cadre stratégique majeur, orientant les efforts du département vers une gestion plus efficace et durable de l'énergie. Les diverses actions initiées, tels que les programmes de sensibilisation aux écogestes et l'optimisation des systèmes de chauffage, démontrent un engagement clair envers la réduction des gaspillages énergétiques et l'amélioration de l'efficacité énergétique.

L'intégration des collèges dans cette politique de maîtrise de la consommation énergétique est cruciale. La présentation des collèges a mis en évidence la diversité de leurs caractéristiques, notamment en termes de capacité d'accueil, d'infrastructures et de modes de chauffage. Cette diversité nécessite une approche personnalisée pour chaque établissement afin de maximiser les gains d'efficacité énergétique et de minimiser les coûts opérationnels. Les enjeux identifiés, tels que la réduction des émissions de CO₂ et la promotion des pratiques durables, sont non seulement importants pour les établissements scolaires, mais aussi pour l'ensemble de la communauté.

Pour soutenir cette démarche, une BDD détaillée a été créée, regroupant des informations exhaustives sur chaque collège, telles que la surface des bâtiments, la présence de SEGPA, de sections sportives, d'ULIS et d'hébergements pour le personnel. La BDD inclut également des données sur les modes de chauffage utilisés et le type d'énergie des chaudières. Cette BDD a été construite à partir de la collecte et de la jointure de données administratives et techniques, fournissant ainsi une vision claire et précise de la situation énergétique actuelle des collèges.

Les axes d'analyse définis, comprenant l'évolution de la consommation énergétique globale, la répartition par source d'énergie, l'analyse des dépenses et des émissions de CO₂, offrent un cadre structuré pour la partie analytique de cette étude. Ils permettent de fournir des aperçus précieux en matière de gestion énergétique. En particulier, la visualisation des dépenses énergétiques et des émissions de CO₂ est essentielle pour mesurer l'impact des actions entreprises et identifier les domaines nécessitant des améliorations.

En conclusion, le bilan souligne l'importance d'une approche intégrée et collaborative pour relever les défis énergétiques des collèges. Les résultats obtenus jusqu'à présent montrent des avancées significatives, mais aussi des opportunités pour renforcer encore plus l'efficacité énergétique. L'engagement continu du département à travers le PDSE, combiné à une compréhension approfondie des enjeux spécifiques aux collèges et à l'exploitation efficace de la BDD, pave la voie vers une gestion énergétique plus durable et responsable. Cela non seulement contribue à la protection de l'environnement, mais améliore également la qualité de l'enseignement en libérant des ressources financières supplémentaires pour d'autres investissements éducatifs.

2. Consommation et coûts énergétiques des collèges du CD53

Après avoir établi le cadre de notre étude et préparé nos données dans le chapitre précédent, nous sommes maintenant prêts à plonger dans l'analyse de la consommation énergétique des collèges. Ce chapitre vise à examiner de près les différentes facettes de la consommation d'énergie dans les collèges du CD53, en se concentrant sur la quantité d'énergie utilisée, les dépenses associées et les émissions de CO₂ générées.

Comprendre la consommation énergétique des collèges a une importance capitale pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les collèges représentent des environnements où la demande en énergie est souvent élevée. En comprenant comment cette énergie est utilisée, nous pouvons identifier des opportunités pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les coûts. De plus, la consommation énergétique des collèges a également un impact sur l'environnement, notamment en termes d'émissions de gaz à effet de serre. En examinant les émissions de CO₂ associées à la consommation énergétique, nous pouvons évaluer l'empreinte carbone des collèges et proposer des mesures pour réduire leur impact environnemental.

Dans ce chapitre, nous explorerons donc les données sur la consommation énergétique des collèges, en mettant en évidence les variations et les implications de ces chiffres. Pour faciliter notre analyse, nous avons développé un **tableau de bord interactif (DASH)**⁷ sur **VSCODE**, offrant une visibilité approfondie de notre base de données sur la consommation énergétique des collèges. Chaque onglet du tableau de bord est équipé de filtres permettant de sélectionner les collèges et les années spécifiques, offrant ainsi une grande flexibilité dans l'exploration des données. Cette fonctionnalité de filtrage permet aux utilisateurs d'avoir une vue d'ensemble globale, tout en leur permettant de se concentrer sur des données spécifiques selon leurs besoins d'analyse.

Les collèges utilisent une variété de sources d'énergie pour répondre à leurs besoins en énergie. En effet, les différentes sources sont : **Électricité**, **Gaz naturel**⁸, **Gaz Propane**⁹, **Fioul domestique**¹⁰, **Chauffage urbain**¹¹, **Plaquettes forestières**¹²

Dans les sections suivantes, nous examinerons plus en détail la consommation associée à chacune de ces sources.

⁷ [DASH](#)

⁸ [Gaz naturel](#)

⁹ [Gaz propane](#)

¹⁰ [Fioul domestique](#)

¹¹ [Chauffage urbain](#)

¹² [Plaquettes forestières](#)

2.1. Evolution et répartition de la consommation énergétique

Cette section se concentre sur la consommation d'énergie dans les collèges du CD53, explorant de manière détaillée les différentes sources et utilisations d'énergie au sein de ces institutions. Nous examinerons les tendances passées et présentes de la consommation d'énergie.

De plus, nous étudierons la répartition actuelle des différentes sources d'énergie utilisées dans les collèges. Cette analyse nous permettra de comprendre les sources d'énergie prédominantes et d'évaluer le potentiel d'intégration de sources plus durables dans le mix énergétique des collèges.

Tout d'abord, l'ensemble des collèges publics a consommé 74.6 kWh/m² en 2023. Ce résultat a été trouvé grâce à la formule :

$$DPE = \frac{\sum_{type} Consommation_{type}}{\sum_{collège} Surface\ chauffée_{collège}}$$

Type : Représente le type d'énergie

Collège : Représente un collège

Figure 3: Evolution et répartition de la consommation d'énergie des collèges du CD53 de 2018 à 2023

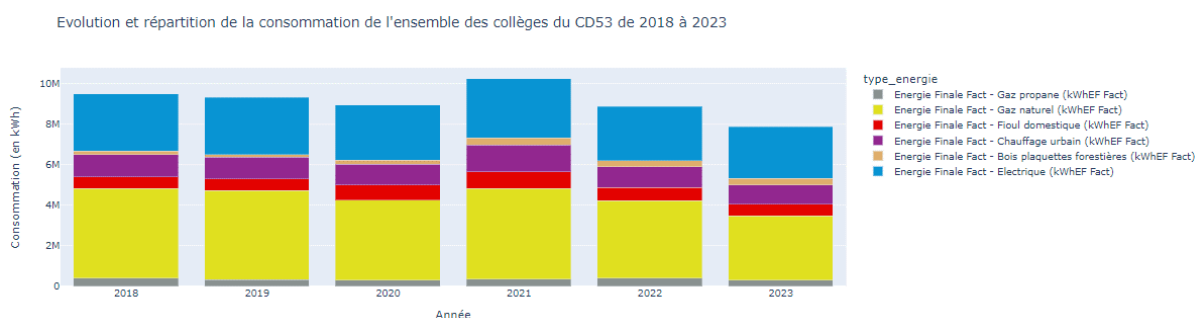


Tableau 2: Tableau d'évolution de la consommation d'énergie des collèges publics du CD53 de 2018 à 2023

Année	Evolution
2018	0 %
2019	-1.8 %
2020	-4.0 %
2021	+14.4 %
2022	-13.5 %
2023	-11.2 %

Une analyse de la consommation d'énergie des collèges sur la période de 2018 à 2023 révèle une tendance intéressante. Globalement, une légère diminution de la consommation d'énergie a été observée de 2018 à 2020. Cependant, une augmentation significative de la consommation a été enregistrée en 2021. Elle s'explique par le fait que l'année 2020 était marqué par la pandémie du COVID-19, causant ainsi la fermeture des collèges en avril et en mai, donc une

consommation très basse pour ces mois. La soudaine hausse est due au fait que les consommations en avril et mai 2021 étaient présentes. Ensuite, on observe une forte baisse de la consommation à partir de 2022. Ce qui est les résultats de l’implémentation du **PDSE** par le CD53.

En outre, le gaz naturel et l’électricité émergent comme les principales sources d’énergie dans les collèges. En effet, le gaz naturel représente environ 40% de la consommation énergétique totale en 2023, tandis que l’électricité constitue environ 32% de cette consommation. Cette constatation souligne l'importance significative de ces deux sources d'énergie dans le contexte de la consommation énergétique des collèges.

GAZ NATUREL

KPIs 1: KPIs descriptifs sur la consommation en GN

Collèges	Consommation
Nombre de collèges ayant consommé du gaz en 2023: 17 collèges	Consommation de gaz de tous les collèges en 2023: 3 179 000 kWh
Les collèges n’ayant pas consommé du gaz en 2023 sont:	Evolution de la Consommation de gaz entre 2022 et 2023: -17 %
['Collège MISEDON', 'Collège VICTOR HUGO', 'Collège LOUIS LAUNAY', 'Collège LE GRAND CHAMP', 'Collège SEPT FONTAINES', 'Collège RENE CASSIN', 'Collège LEO FERRE', 'Collège L'ORIENTTE', 'Collège FRANCIS LALLART']	Part de la consommation de gaz dans celle totale en 2023: 40 %

Malgré la prédominance du gaz naturel comme source d'énergie dans les collèges, il est intéressant de noter que seulement 65% d'entre eux l'utilisent effectivement comme source d'énergie. En effet, certains de ces collèges l'utilisent pour le chauffage, qui est une application à forte consommation d'énergie.

Tableau 3: Tableau d'évolution de la consommation de GN des collèges publics du CD53, de 2018 à 2023

Année	Evolution
2018	0 %
2019	0 %
2020	-10 %
2021	+13 %
2022	-15 %
2023	-17 %

La consommation de gaz naturel dans les collèges a présenté une tendance à la baisse entre 2018 et 2020, suivie d'une brusque augmentation en 2021. La baisse en 2020 semble être attribuable, au fait qu’aux mois d’avril et mai 2020 il n’y avait plus d’élèves dans les collèges

et donc plus de cuisson pour leur restauration, ni de chauffage dans les classes. La hausse en 2021 est due à une reprise d'activité post-pandémique du Covid-19. Par la suite, une nouvelle diminution est observée de 2022 à 2023.

ELECTRICITE

KPIs 2: KPIs descriptifs sur la consommation en électricité des collèges du CD53

Collèges	Consommation
<p>Nombre de collèges ayant consommé de l'électricité en 2023:</p> <p>26 collèges</p> <p>Les collèges n'ayant pas consommé de l'électricité en 2023 sont:</p> <p>Aucun</p>	<p>Consommation d'électricité de tous les collèges en 2023:</p> <p>2 531 400 kWh</p> <p>Evolution de la Consommation d'électricité entre 2022 et 2023:</p> <p>-5 %</p> <p>Part de la consommation d'électricité dans celle totale en 2023:</p> <p>32 %</p>

Il est tout à fait logique de constater une forte prévalence de l'électricité dans la consommation d'énergie des collèges, étant donné son usage omniprésent dans de nombreux aspects de leurs activités. En effet, l'électricité est une source d'énergie incontournable pour l'éclairage, le fonctionnement des équipements électroniques, les systèmes de chauffage et de climatisation, ainsi que d'autres besoins opérationnels. Cette dépendance généralisée à l'électricité est corroborée par le fait que tous les collèges consomment ce type d'énergie, soulignant ainsi son rôle essentiel dans le fonctionnement quotidien de ces établissements.

Tableau 4: Tableau d'évolution de la consommation d'électricité des collèges du CD53, de 2018 à 2023

Année	Evolution
2018	0 %
2019	0 %
2020	-3 %
2021	+6 %
2022	-8 %
2023	-5 %

En ce qui concerne les tendances de consommation, une diminution régulière de la consommation d'électricité a été observée de 2018 à 2020. Cette diminution en 2020 s'explique par le fait que l'année 2020 a été marquée par un arrêt de fonctionnement des collèges pendant quelques mois, dû à la pandémie. Cependant, une augmentation soudaine de la consommation d'électricité a été enregistrée à partir de 2021. Ce qui est très logique, car c'était une année où il n'y a pas eu d'incident perturbant le fonctionnement des collèges. Ensuite, une baisse

importante de la consommation d’électricité a été notée à partir de 2022. Cette baisse résulte de plusieurs facteurs potentiels, tels que les initiatives d'efficacité énergétique, les changements dans les pratiques de gestion de l'énergie, etc. mis en œuvre par le CD53.

PROPANE

KPIs 3: KPIs descriptifs sur la consommation en GP des collèges du CD53

Collèges	Consommation
<p>Nombre de collèges ayant consommé du propane en 2023:</p> <p>9 collèges</p> <p>Les collèges ayant consommé du propane en 2023 sont:</p> <p>['Collège SEPT FONTAINES', 'Collège L'ORIENTTE', 'Collège RENE CASSIN', 'Collège FRANCIS LALLART', 'Collège LE GRAND CHAMP', 'Collège LOUIS LAUNAY', 'Collège VICTOR HUGO', 'Collège MISEDON', 'Collège LEO FERRE']</p>	<p>Consommation de propane de tous les collèges en 2023:</p> <p>303 100 kWh</p> <p>Evolution de la consommation de propane entre 2022 et 2023:</p> <p>-26 %</p> <p>Part de la consommation de propane dans celle totale en 2023:</p> <p>4 %</p>

Il est intéressant de constater que malgré sa moindre prévalence par rapport à d'autres sources d'énergie, telles que le gaz naturel et l'électricité, le propane est encore utilisé dans un nombre significatif de collèges. En effet, environ 35% des établissements scolaires consomment du propane, représentant environ 4% de la consommation énergétique totale des collèges en 2023. Cette utilisation du propane dans une proportion notable de collèges peut s'expliquer par ses avantages spécifiques dans certaines applications, telles que le chauffage des bâtiments, la production d'eau chaude ou la combustion (pour cuisiner).

Tableau 5: Tableau d'évolution de la consommation de GP des collèges du CD53, de 2018 à 2023

Année	Evolution
2018	0 %
2019	-18 %
2020	-7 %
2021	+20 %
2022	+12 %
2023	-26 %

En ce qui concerne les tendances de consommation, une baisse de la consommation de propane a été observée de 2018 à 2020. Cette diminution peut être attribuée à la transition vers des énergies renouvelables du CD53, dans le but de réduire son empreinte carbone. Cependant, une hausse de la consommation de propane a été enregistrée de 2021 jusqu'en 2022, suivie d'une nouvelle baisse en 2023. Cette baisse a été principalement influencée par l’implémentation du PDSE du CD53 en septembre 2022.

FIOUL DOMESTIQUE

KPIs 4: KPIs descriptifs sur la consommation en FOD des collèges du CD53

Collèges	Consommation
<p>Nombre de collèges ayant consommé du fioul en 2023:</p> <p style="text-align: center;">6 collèges</p> <p>Les collèges ayant consommé du fioul en 2023 sont:</p> <p>['Collège SEPT FONTAINES', 'Collège RENE CASSIN', 'Collège LE GRAND CHAMP', 'Collège LOUIS LAUNAY', 'Collège MISEDON', 'Collège LEO FERRE']</p>	<p>Consommation de fioul de tous les collèges en 2023:</p> <p style="text-align: center;">570 900 kWh</p> <p>Evolution de la consommation de fioul entre 2022 et 2023:</p> <p style="text-align: center;">-12 %</p> <p>Part de la consommation de fioul dans celle totale en 2023:</p> <p style="text-align: center;">7 %</p>

Il est intéressant de noter que bien que moins répandu que d'autres sources d'énergie telles que le gaz naturel et l'électricité, le fioul domestique est encore utilisé dans un pourcentage significatif de collèges, avec environ 22% des établissements scolaires consommant cette source d'énergie. Cette utilisation du fioul domestique représente environ 7% de la consommation énergétique totale des collèges en 2023. Cette constatation suggère que le fioul domestique reste une option viable pour certains collèges, probablement en raison de ses caractéristiques spécifiques et de sa disponibilité locale.

Tableau 6: Tableau d'évolution de la consommation de FOD des collèges du CD53, de 2018 à 2023

Année	Evolution
2018	0 %
2019	-2 %
2020	+31 %
2021	+6 %
2022	-19 %
2023	-12 %

En ce qui concerne les tendances de consommation, une augmentation de la consommation de fioul domestique a été observée de 2020 à 2021. Cependant, une nouvelle baisse de la consommation de fioul domestique a été enregistrée à partir de 2022. Cette baisse est due à la mise en œuvre d'une nouvelle politique publique, durant l'automne 2022.

CHAUFFAGE URBAIN

KPIs 5: KPIs descriptifs sur la consommation en RCU des collèges du CD53

Collèges	Consommation
<p>Nombre de collèges ayant consommé du chauffage urbain en 2023: 5 collèges</p> <p>Les collèges ayant consommé du chauffage urbain en 2023 sont: ['Collège PAUL LANGEVIN', 'Collège FRANCIS LALLART', 'Collège PIERRE DUBOIS', 'Collège JACQUES MONOD', 'Collège ALAIN GERBAULT']</p>	<p>Consommation de chauffage urbain de tous les collèges en 2023: 949 500 kWh</p> <p>Evolution de la consommation de chauffage urbain entre 2022 et 2023: -8 %</p> <p>Part de la consommation de chauffage urbain dans celle totale en 2023: 12 %</p>

Nous notons que le chauffage urbain est encore utilisé dans un pourcentage significatif de collèges, avec environ 19% des établissements scolaires consommant cette source d'énergie. Cette utilisation du chauffage urbain représente environ 12% de la consommation énergétique totale des collèges en 2023. Cette constatation suggère que le chauffage urbain reste une option viable pour certains collèges, en raison de sa disponibilité locale et de son efficacité énergétique.

Tableau 7: Tableau d'évolution de la consommation de RCU des collèges du CD53, de 2018 à 2023

Année	Evolution
2018	0 %
2019	-2 %
2020	-5 %
2021	+31 %
2022	-22 %
2023	-8 %

En ce qui concerne les tendances de consommation, une baisse de la consommation de chauffage urbain a été observée de 2018 à 2020. L'arrêt des activités liée à la pandémie du Covid-19 a entraîné la légère baisse en 2020. Cependant, une forte hausse de la consommation de chauffage urbain a été enregistrée en 2021, suivie d'une forte baisse à partir 2022. Les fluctuations observées sont le résultat de la reprise économique post-confinement en 2020 et des variations des degrés-jours unifiés (DJU¹³). En 2021, des températures plus froides que la moyenne sur la période 2013-2022 pendant la saison de chauffe (d'octobre à mai) ont accru la demande de chauffage en Mayenne. En revanche, l'année 2022 a été caractérisée par des températures nettement plus élevées pendant cette période, entraînant une diminution de la

¹³ [DJU](#)

demande en chauffage par rapport à 2021. En 2023, les températures sont retombées en dessous de celles de 2022 pour la saison de chauffe, augmentant ainsi la demande en chauffage par rapport à l'année précédente, cependant l'implémentation du PDSE par le CD53 a causé cette baisse de consommation en 2023.

PLAQUETTES FORESTIERES

KPIs 6: KPIs descriptifs sur la consommation en PF des collèges du CD53

Collèges	Consommation
<p>Nombre de collèges ayant consommé du plaquettes forestières en 2023:</p> <p>2 collèges</p> <p>Les collèges ayant consommé des plaquettes forestières en 2023 sont:</p> <p>['Collège RENE CASSIN', 'Collège MISEDON']</p>	<p>Consommation de plaquettes forestières de tous les collèges en 2023:</p> <p>330 700 kWh</p> <p>Evolution de la consommation de plaquettes forestières entre 2022 et 2023:</p> <p>+19 %</p> <p>Part de la consommation de plaquettes forestières dans celle totale en 2023:</p> <p>4 %</p>

Nous notons que les plaquettes forestières sont moins répandues que les autres sources d'énergie, avec environ 8% des établissements scolaires utilisant cette option. Cependant, son utilisation représente environ 4% de la consommation énergétique totale des collèges en 2023. Cette constatation suggère que les plaquettes forestières sont devenues une option viable pour un nombre non négligeable de collèges, probablement en raison de leur disponibilité locale, de leur faible coût et de leur caractère renouvelable.

Tableau 8: Tableau d'évolution de la consommation de PF des collèges du CD53, de 2018 à 2023

Année	Evolution
2018	0 %
2019	-26 %
2020	-13 %
2021	+97 %
2022	+32 %
2023	+19 %

En ce qui concerne les tendances de consommation, une baisse de l'utilisation des plaquettes forestières a été observée de 2018 à 2020, suivie d'une forte hausse à partir de 2021. Cette augmentation significative peut être attribuée aux initiatives de durabilité implémentées au sein du département. Ces tendances de consommation soulignent l'importance croissante des plaquettes forestières comme source d'énergie alternative dans ces collèges, en particulier à

mesure que les institutions cherchent à réduire leur empreinte carbone et à promouvoir des pratiques énergétiques durables. Ce qui est le cas pour le CD53.

Classement des collèges en 2023

Consommation totale

Tableau 9: Top 10 des collèges ayant le plus consommé de l'énergie

Nom_etablissement	Nombre_d_eleves	Surface chauffée	conso
Collège EMMANUEL DE MARTONNE	544	7736	645 300 kWh
Collège JULES-RENARD	624	6158	578 800 kWh
Collège VOLNEY	305	6037	508 500 kWh
Collège JULES-FERRY	530	5595	417 100 kWh
Collège ALAIN GERBAULT	457	5379	404 700 kWh
Collège PAUL EMILE VICTOR	472	4892	379 200 kWh
Collège PIERRE DUBOIS	519	5749	366 700 kWh
Collège JACQUES MONOD	426	5997	334 500 kWh
Collège MISEDON	361	4148	334 100 kWh
Collège RENE CASSIN	355	4187	327 600 kWh

En examinant le classement des établissements ayant le plus consommé d'énergie, nous pouvons constater quelques tendances intéressantes. Tout d'abord, le **Collège Emmanuel de Martonne** occupe la première place du classement avec une consommation totale de 645 300 kWh. Ce résultat peut s'expliquer par la grande taille de l'établissement, avec un nombre élevé d'élèves (544) et une surface chauffée importante (7736 m²). Cette situation démontre l'impact significatif de la taille de l'établissement sur sa consommation énergétique totale.

En deuxième position, nous retrouvons le Collège Jules-Renard, suivi par le Collège Volney. Bien que ces établissements aient des caractéristiques variables en termes de nombre d'élèves et de surface chauffée, nous pouvons observer une tendance générale où les établissements avec des surfaces chauffées plus importantes ont tendance à avoir une consommation énergétique totale plus élevée.

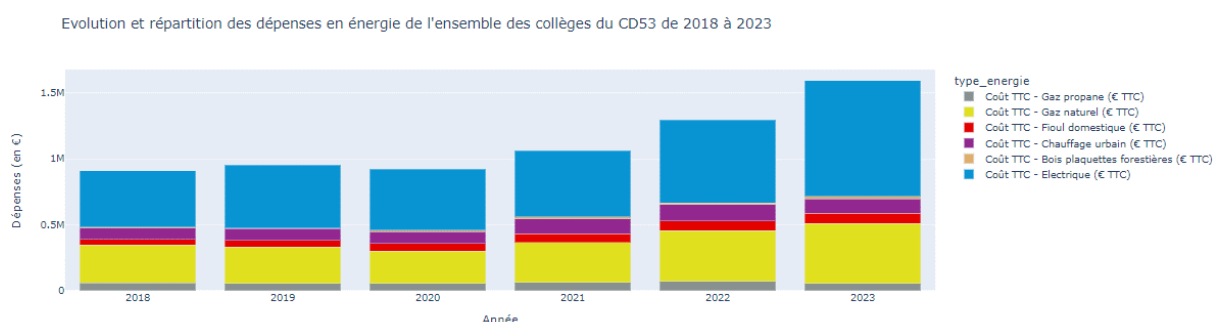
Cette analyse souligne l'importance de prendre en compte à la fois la taille de l'établissement et ses caractéristiques physiques lors de l'évaluation de sa consommation énergétique.

2.2. Evolution et répartition des coûts liés à la consommation d'énergie

Cette section se concentre sur les coûts associés à la consommation énergétique des collèges. Comprendre les coûts liés à la consommation d'énergie est crucial pour évaluer l'impact financier de l'utilisation des différentes sources d'énergie et pour identifier les opportunités d'optimisation des dépenses énergétiques.

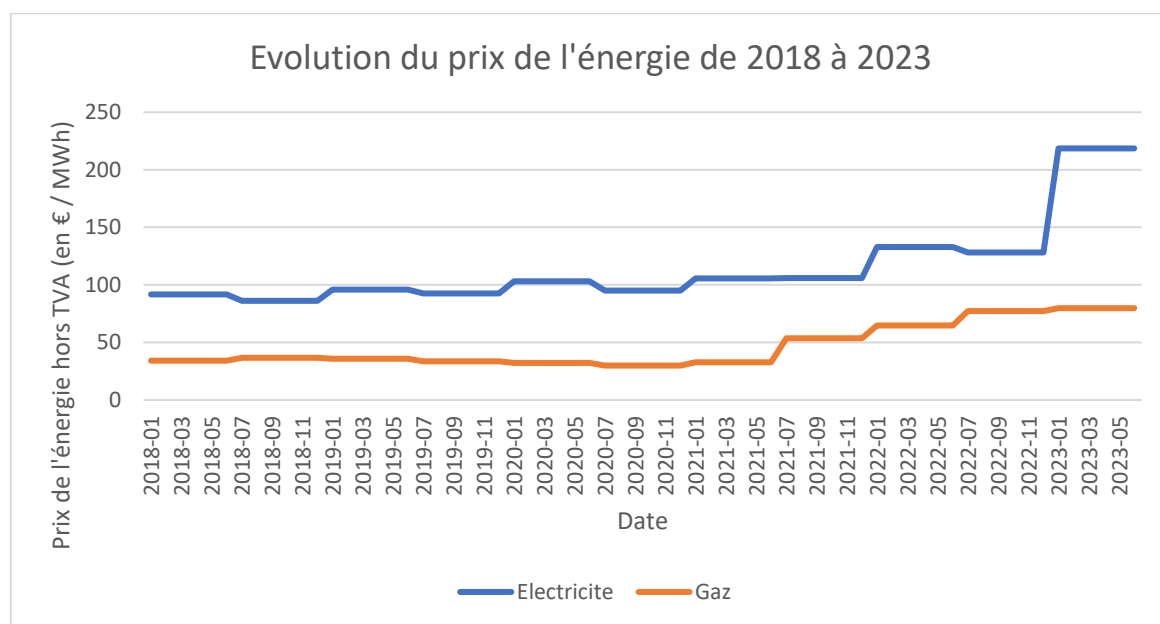
En 2023, les coûts liés à la consommation énergétique des collèges s'élèvent à environ 1 591 000 € environ (soit 61 192 € par collège).

Figure 4: Evolution et répartition des dépenses en énergies des collèges du CD53, par type d'énergie



On observe pour l'ensemble des 26 collèges, une croissance du coût en énergie, malgré les efforts de diminution de la consommation constatée. Ceci est dû à l'augmentation du prix de l'énergie qui ne cesse de croître.

Figure 5: Evolution du prix de l'électricité et du gaz, de 2018 à 2023



En effet, le prix de l'électricité et du gaz hors TVA a doublé entre 2018 et 2023. L'arrivée de la pandémie du Covid-19 en 2020, a engendré une hausse des coûts d'approvisionnement en gaz. Ce qui a eu un impact direct sur le prix de cette source d'énergie. En 2022, les litiges entre la Russie et l'Ukraine ont entraîné des répercussions directes sur le prix de l'électricité et du gaz.

On remarque aussi que le gaz naturel (29% des dépenses énergétiques en 2023) et l'électricité (55% des dépenses énergétiques en 2023) sont les énergies qui représentent la plus grosse part des dépenses énergétiques des collèges.

De cette fluctuation du prix de l'électricité et du gaz et de la part importante de ces 2 sources d'énergie dans la consommation des collèges, on pourrait s'attendre à une augmentation considérable du coût de ces énergies malgré la baisse de consommation constatée.

GAZ NATUREL

KPIs 7: KPI descriptif des dépenses en GN

Dépenses
Dépenses en gaz de tous les collèges en 2023: 456 909 €
Evolution des dépenses en gaz entre 2022 et 2023: +19 %
Part des dépenses en gaz dans celles totales en 2023: 29 %

Tableau 10: Tableau d'évolution des dépenses en GN des collèges du CD53

Année	Evolution
2018	0 %
2019	-4 %
2020	-11 %
2021	+24 %
2022	+27 %
2023	+19 %

Comme pour la consommation, le gaz naturel est l'une des sources d'énergies prédominantes dans les dépenses en énergie. Ce qui est une évidence, vu que la dépense est proportionnelle à la consommation.

Il est remarquable de noter une diminution des dépenses en gaz naturel de 2018 à 2020, suivie d'une augmentation brusque et significative en 2021. Cette hausse est attribuable à l'augmentation de la consommation due à la reprise des activités après les perturbations liées au Covid-19. Malgré les efforts visant à réduire la consommation de gaz naturel, cette croissance reste marquée de 2022 à 2023. Cela suggère que l'augmentation du prix du gaz est si prononcée que les initiatives de réduction de la consommation n'ont pas été suffisantes pour diminuer les dépenses en gaz naturel.

ELECTRICITE

KPIs 8: KPI descriptif des dépenses en électricité des collèges du CD53

Dépenses
Dépenses en électricité de tous les collèges en 2023: 874 805 €
Evolution des dépenses en électricité entre 2022 et 2023: +39 %
Part des dépenses en électricité dans celles totales en 2023: 55 %

Tableau 11: Tableau d'évolution des dépenses en électricité des collèges du CD53

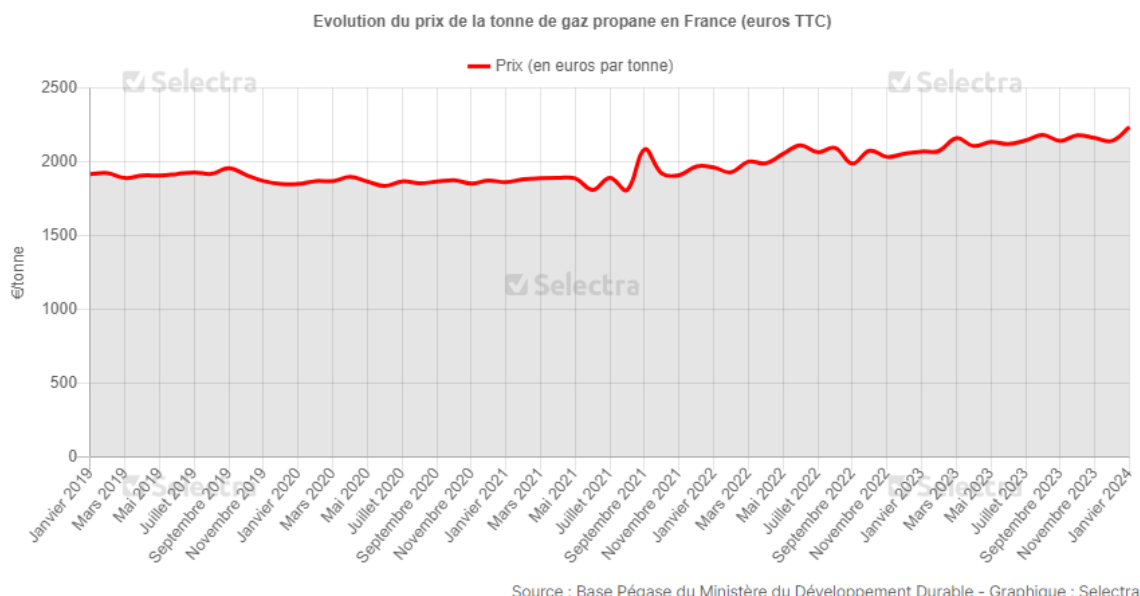
Année	Evolution
2018	0 %
2019	+11 %
2020	-3 %
2021	+8 %
2022	+26 %
2023	+39 %

Tout comme le gaz naturel, l'électricité constitue une autre source d'énergie prédominante dans les dépenses énergétiques. Cette prédominance s'explique principalement par la part importante qu'elle occupe dans les consommations énergétiques, ainsi que par son prix élevé. En effet, le coût de l'électricité est deux fois plus élevé que celui du gaz naturel, ce qui justifie sa position dominante dans les dépenses énergétiques.

Nous observons une augmentation des dépenses en électricité de 2018 à 2023. Durant cette période, le prix de cette source d'énergie n'a cessé d'augmenter, affectant les dépenses en électricité de la sorte. Malgré les efforts de diminution de la consommation d'électricité de 2018 à 2023, les dépenses en électricité n'ont quand même pas pris la même direction que les consommations. Cela suggère que l'augmentation du prix de l'électricité est si prononcée que les initiatives de réduction de la consommation n'ont pas été suffisantes pour diminuer les dépenses en électricité.

PROPANE

Figure 6: Evolution du prix du GP



KPIs 9: KPI descriptif des dépenses en GP des collèges du CD53

Dépenses
Dépenses en propane de tous les collèges en 2023: 54 306 €
Evolution des dépenses en propane entre 2022 et 2023: -25 %
Part des dépenses en propane dans celles totales en 2023: 3 %

Tableau 12: Tableau d'évolution des dépenses en GP des collèges du CD53

Année	Evolution
2018	0 %
2019	-8 %
2020	+2 %
2021	+15 %
2022	+16 %
2023	-25 %

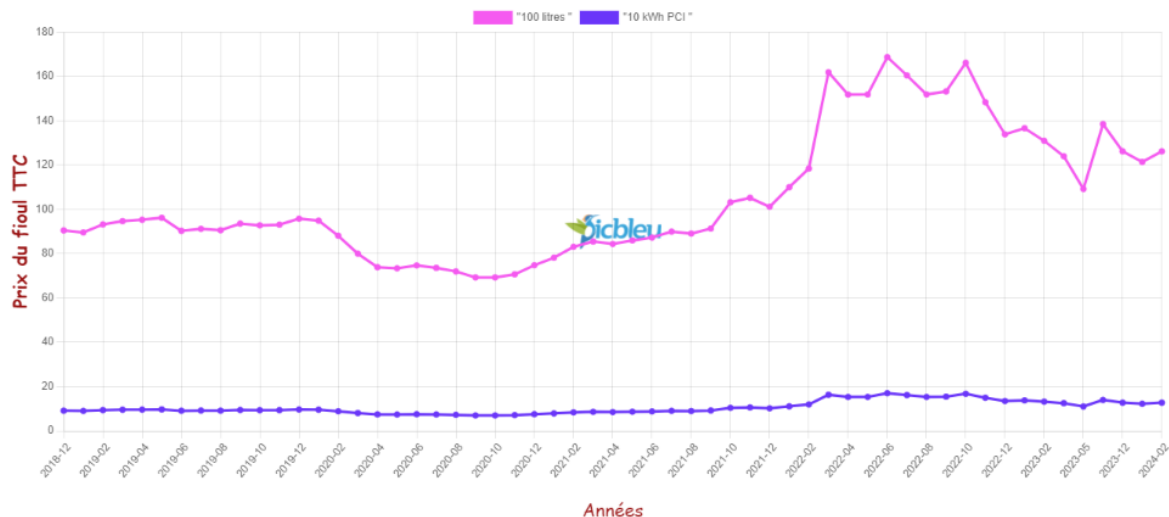
De 2019 à 2023, le prix du propane est resté relativement stable, oscillant entre 150 et 169 € par mégawattheure (MWh). Les dépenses associées à la consommation de propane représentent une part minime des dépenses totales en énergie, avec des proportions similaires pour la consommation totale d'énergie. Cela nous laisse envisager des variations similaires à la consommation de propane.

Ce tableau d'évolution confirme nos soupçons : les fluctuations de la consommation de propane et des dépenses qui en découlent sont parfaitement synchronisées. Cette corrélation s'explique par la stabilité du prix du propane.

FIOUL DOMESTIQUE

Figure 7: Evolution du prix du FOD depuis 2018

Prix du fioul domestique



Le prix du fioul a cru de 2018 à 2023, passant 90.5 €/MWh à 126 €/MWh. Il atteint son pic en juin 2022, avec un montant 168 €/MWh.

KPIs 10: KPI descriptif des dépenses en FOD des collèges du CD53

Dépenses
Dépenses en fioul de tous les collèges en 2023: 74 284 €
Evolution des dépenses en fioul entre 2022 et 2023: +1 %
Part des dépenses en fioul dans celles totales en 2023: 5 %

Tableau 13: Tableau d'évolution des dépenses en FOD des collèges du CD53

Année	Evolution
2018	0 %
2019	+7 %
2020	+19 %
2021	+10 %
2022	+14 %
2023	+1 %

Les dépenses liées à la consommation de fioul domestique s'élèvent à 74 300 €, ce qui ne représente qu'une fraction modeste des dépenses totales en énergie, soit environ 5%.

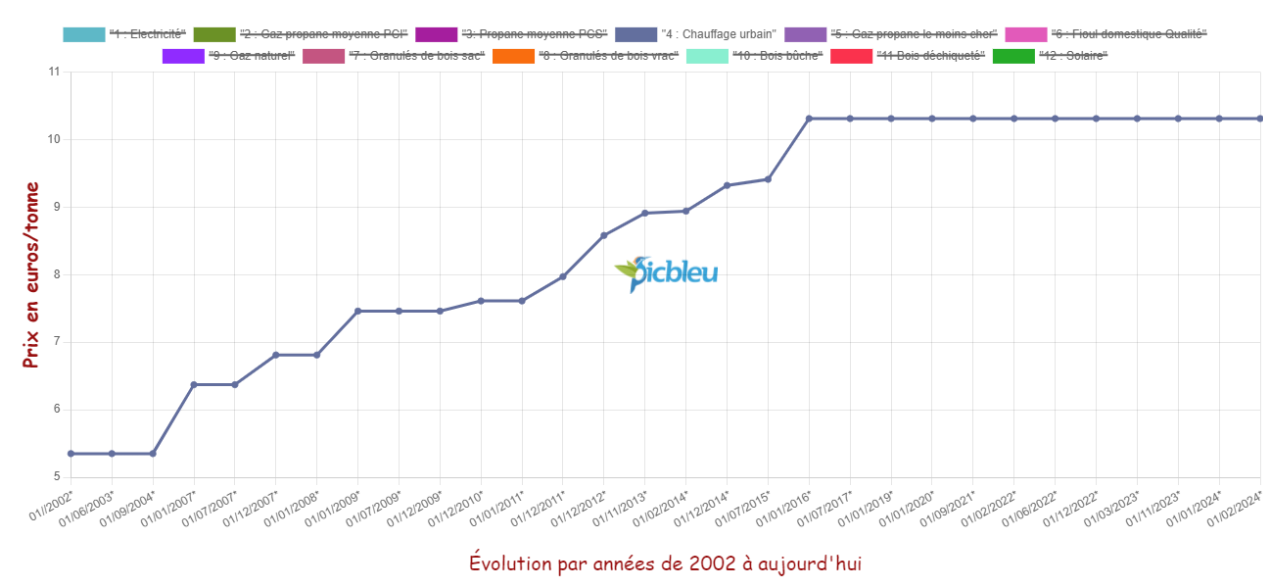
Nous remarquons que, malgré les évolutions divergentes de la consommation de fioul domestique dans les collèges et de son prix, les dépenses en fioul évoluent de manière cohérente avec les fluctuations de ces deux facteurs. Par exemple, en 2020, on note une forte hausse de la consommation de 31% ; ainsi qu'une augmentation des dépenses de 19%, en raison de la prédominance de cette hausse de consommation, malgré une baisse du prix du fioul. En revanche, en 2022, bien que la consommation ait fortement diminué de 19%, l'augmentation substantielle du prix du fioul a entraîné une hausse des dépenses de 14%.

Ainsi, les dépenses en fioul des collèges sont principalement influencées par les variations du prix du fioul, même lorsque la consommation varie dans des directions opposées.

CHAUFFAGE URBAIN

Figure 8: Evolution du prix du RCU depuis 2002

Evolution du prix des énergies 2024



KPIs 11: KPI descriptif des dépenses en RCU des collèges du CD53

Dépenses
Dépenses en chauffage urbain de tous les collèges en 2023: 111 981 €
Evolution des dépenses en chauffage urbain entre 2022 et 2023: -8 %
Part des dépenses en chauffage urbain dans celles totales en 2023: 7 %

Tableau 14: Tableau d'évolution des dépenses en RCU des collèges du CD53

Année	Evolution
2018	0 %
2019	+7 %
2020	+2 %
2021	+27 %
2022	+6 %
2023	-8 %

Étant donné que le prix du chauffage urbain est demeuré stable de 2018 à 2023, nous pouvons nous attendre à ce que sa consommation dans les collèges ainsi que les dépenses qui lui sont associées évoluent de manière similaire.

Les dépenses liées à cette source représentent 7% des dépenses totales et s'élèvent à 112 000 €.

L'évolution des dépenses de chauffage urbain pour les collèges présente une dynamique intéressante et parfois contre-intuitive par rapport à la consommation. Cette fluctuation peut

être liée à divers facteurs tels qu'une augmentation des frais fixes ou des taxes, un changement dans la structure tarifaire ou une utilisation de services ou d'équipements supplémentaires.

PLAQUETTES FORESTIERES

KPIs 12: KPI descriptif des dépenses en PF des collèges du CD53

Dépenses
Dépenses en plaquettes forestières de tous les collèges en 2023: 18 708 €
Evolution des dépenses en plaquettes forestières entre 2022 et 2023: +36 %
Part des dépenses en plaquettes forestières dans celles totales en 2023: 1 %

Tableau 15: Tableau d'évolution des dépenses en PF des collèges du CD53

Année	Evolution
2018	0 %
2019	-27 %
2020	+50 %
2021	+83 %
2022	-11 %
2023	+36 %

Le bois déchiqueté, matière première utilisée pour produire des plaquettes forestières, a maintenu un prix stable de 2018 à 2023.

Les dépenses associées à cette source représentent 1% des dépenses totales, s'élevant à 18700 €. Ce faible pourcentage s'explique par le fait qu'il est utilisé par un nombre limité de collèges (2 collèges).

Ce tableau d'évolution révèle une variation similaire à celle de la consommation de bois déchiqueté, ce qui est cohérent compte tenu de la stabilité de son prix sur la période étudiée.

Classement des collèges en 2023

Tableau 16: Top 10 des collèges ayant le plus dépensé en énergie

Nom_etablissement	Nombre_d_eleves	Surface_chauffée	depense
Collège EMMANUEL DE MARTONNE	544	7736	135 219 €
Collège JULES-RENARD	624	6158	135 037 €
Collège VOLNEY	305	6037	97 891 €
Collège JULES-FERRY	530	5595	92 548 €
Collège JEAN ROSTAND	513	5369	86 964 €
Collège PAUL EMILE VICTOR	472	4892	82 867 €
Collège PIERRE DUBOIS	519	5749	75 152 €
Collège JACQUES MONOD	426	5997	73 174 €
Collège LES GARETTES	130	3735	64 936 €
Collège SEPT FONTAINES	365	3818	63 495 €

En examinant le classement des établissements selon leurs dépenses de consommation d'énergie, plusieurs tendances intéressantes se dégagent. Tout d'abord, le Collège **Emmanuel**

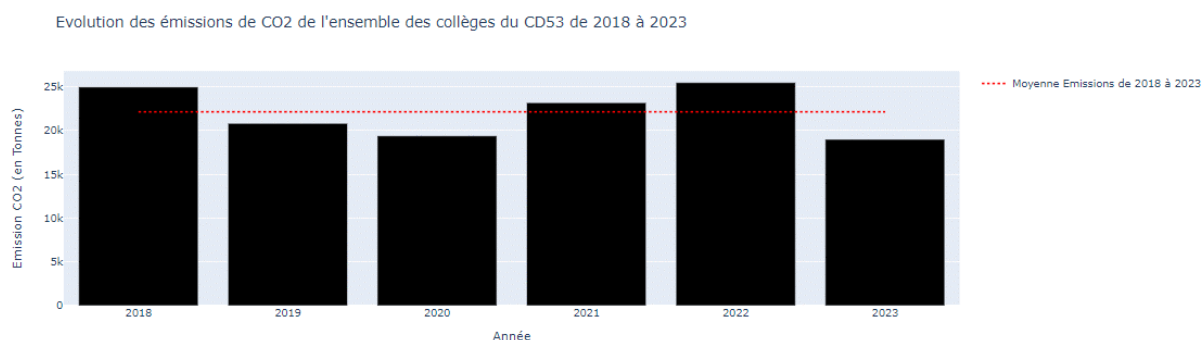
De Martonne se distingue en tête du classement avec des dépenses de 135 200 €, ce qui peut s'expliquer par sa consommation élevée. Les Collèges Jules-Renard et Volney suivent, ce qui est en corrélation avec leur classement basé sur leur consommation énergétique. Malgré les variations dans les caractéristiques telles que le nombre d'élèves et la surface chauffée, on observe une tendance générale : les établissements avec un effectif d'élèves plus élevé et une surface chauffée plus importante ont tendance à afficher des dépenses énergétiques plus élevées. Les types d'énergie consommés peuvent également influencer ces dépenses, ce qui explique certaines exceptions dans le classement, comme les Collèges Les Garettes et Sept Fontaines.

Cette analyse met en évidence l'importance de prendre en compte à la fois la taille de l'établissement, ses caractéristiques physiques et le type d'énergie consommé lors de l'évaluation de ses dépenses en énergie.

2.3. Emissions de CO2 liées à la consommation d'énergie

Par sa nature, on anticipe que les émissions de CO2 reflètent de manière parallèle l'évolution de la consommation des différentes sources d'énergie qui engendre ces émissions. À titre d'exemple, en 2023, l'émission totale de CO2 pour l'ensemble des établissements s'est élevée à 19 000 tonnes, soit une moyenne de 700 tonnes par collège ou 2 tonnes par élève.

Figure 9: Evolution des émissions de CO2 lié à la consommation énergétique des collèges du CD53



De 2018 à 2020, nous avons observé une diminution des émissions associées aux consommations énergétiques. La baisse en 2020 est due à la fermeture des collèges du 14 Mars au 14 Juin 2020.

En revanche, entre 2021 et 2022, nous avons enregistré une augmentation significative de ces émissions. Cette hausse peut être attribuée à des facteurs tels que la reprise économique post-pandémie de COVID-19, entraînant une augmentation de l'activité industrielle et commerciale.

Enfin, en 2023, nous avons observé une nouvelle diminution des émissions. Cette baisse peut être le résultat de l'adoption croissante de sources d'énergie renouvelables et de mesures visant à réduire l'utilisation de combustibles fossiles, conformément aux objectifs de développement durable.

Classement des collèges en 2023

Tableau 17: Top 10 des collèges ayant le plus émis du CO2 lié à leur consommation

Nom_etablissement	Nombre_d_eleves	Surface chauffée	Emission_CO2
Collège L'ORIENTTE	266	2662	3 550 Tonnes de CO2
Collège SEPT FONTAINES	365	3818	3 490 Tonnes de CO2
Collège MISEDON	361	4148	2 800 Tonnes de CO2
Collège FRANCIS LALLART	155	2871	2 510 Tonnes de CO2
Collège RENE CASSIN	355	4187	1 890 Tonnes de CO2
Collège LEO FERRE	235	3021	1 700 Tonnes de CO2
Collège VICTOR HUGO	221	2860	1 160 Tonnes de CO2
Collège LOUIS LAUNAY	182	2933	630 Tonnes de CO2
Collège LE GRAND CHAMP	259	3071	350 Tonnes de CO2
Collège EMMANUEL DE MARTONNE	544	7736	120 Tonnes de CO2

En analysant ce classement, il est évident que le **collège L'Orientte** se distingue en tant que premier émetteur de CO2 lié à sa consommation énergétique parmi les autres établissements. En effet, les émissions de CO2 de ce collège s'élèvent à 3 550 tonnes, ce qui est notable pour un établissement de sa taille. Cette situation découle principalement de sa forte dépendance au propane, qui représente 40% de sa consommation totale d'énergie.

Cette tendance se répète également pour les collèges suivants dans le classement. Par exemple, pour le collège Sept fontaines, les consommations de fioul domestique et de propane combinées représentent 66% de sa consommation totale d'énergie. De même, pour le collège De Misedon, le fioul domestique et le propane contribuent à hauteur de 18% de sa consommation totale d'énergie.

Cette observation est cohérente, étant donné que le propane et le fioul domestique sont des sources d'énergie connues pour émettre une quantité significative de CO2 lors de leur combustion.

2.4. Bilan

Ce chapitre a offert une analyse exhaustive de la consommation énergétique dans les collèges, structurée autour des visualisations effectuées pour parvenir à une compréhension approfondie des tendances énergétiques ainsi que leur impact économique et environnemental.

L'analyse a mis en avant la prédominance du gaz naturel et de l'électricité dans la consommation totale d'énergie, tout en notant que d'autres sources, telles que le propane, le fioul domestique et les plaquettes forestières, bien que moins représentatives, jouent des rôles cruciaux qui reflètent souvent les conditions locales et les politiques de durabilité. De plus, des fluctuations significatives dans la consommation de chaque type d'énergie ont été observées. L'année 2021 se démarque par une augmentation brusque de la consommation, liée à la reprise d'activité après la pandémie du COVID-19 en 2020. Inversement, l'année 2022 marque une période particulièrement intéressante, avec des baisses significatives dans la consommation, qui pourraient être attribuées à de nouvelles politiques ou à des changements dans les comportements de consommation.

En outre, cela a mis en lumière une tendance intéressante concernant les coûts énergétiques, qui, contrairement à la consommation, n'ont cessé de croître. Cette augmentation continue des dépenses est directement liée à l'évolution des prix des différentes sources d'énergie. Par exemple, de 2018 à 2023, le prix du bois déchiqueté est resté stable tandis que celui de l'électricité n'a cessé d'augmenter. Cette forte croissance du coût de l'énergie suggère que les efforts de réduction de la consommation ne suffisent pas toujours à compenser l'impact d'une croissance exponentielle des prix de l'énergie. En termes d'émissions de CO₂, une nette réduction a été observée entre 2018 et 2023, avec une baisse particulièrement marquée en 2020. Cette diminution soudaine est principalement attribuée à la suspension des activités durant la pandémie de COVID-19, ce qui a entraîné une réduction temporaire des émissions.

Ces observations ouvrent des pistes de réflexion sur les mesures d'efficacité énergétique et les stratégies d'optimisation à envisager, notamment l'augmentation de l'utilisation des énergies renouvelables et l'intensification des efforts de sensibilisation aux enjeux de la durabilité.

3. Optimisation et Prévision Énergétique des Collèges du CD53

Ce chapitre explore les méthodologies avancées de modélisation pour identifier des stratégies d'optimisation de la consommation énergétique des collèges du CD53. En s'appuyant sur les données accumulées et analysées dans les chapitres précédents, nous développerons plusieurs modèles prédictifs afin d'évaluer leur performance et leur pertinence dans le contexte spécifique de la consommation d'énergie des collèges publics du département de la Mayenne. Une fois les modèles les plus efficaces sélectionnés, nous interpréterons leurs résultats pour formuler des recommandations concrètes visant à réduire la consommation énergétique de ces établissements. Ce processus comprendra également une projection des consommations et des coûts énergétiques futurs, envisageant à la fois des scénarios où les collèges conservent leurs caractéristiques actuelles et des cas où les améliorations suggérées sont mises en œuvre. L'objectif est de fournir des pistes d'amélioration pragmatiques qui pourront guider les décisions futures en matière de gestion énergétique dans les établissements scolaires.

3.1. Modélisation

La modélisation constitue une étape cruciale dans notre démarche visant à optimiser la consommation énergétique des collèges. Pour parvenir à des recommandations précises et exploitables, il est essentiel de traiter soigneusement les données et d'évaluer plusieurs modèles afin d'identifier celui qui présente les meilleures performances prédictives. Dans cette section, nous décrirons en détail les étapes du processus de modélisation, en mettant particulièrement l'accent sur le traitement des données et les modèles testés.

Nous commencerons par discuter des techniques de prétraitement des données que nous avons appliquées, en particulier l'augmentation des données, qui garantit qu'au moins 12 % des observations correspondent à chaque modalité des variables catégorielles après augmentation. Cette étape est nécessaire pour éviter qu'une modalité soit sous-représentée.

La méthode de **Winsorization** est une technique statistique utilisée pour gérer les valeurs extrêmes ou aberrantes dans nos données. Elle consiste à remplacer les valeurs extrêmes par des valeurs moins extrêmes, souvent les valeurs minimales et maximales observées dans un intervalle donné. Cette approche permet de limiter l'impact des valeurs aberrantes sur les modèles tout en préservant l'intégrité des données. Nous appliquerons ensuite cette méthode à nos données afin de garantir la robustesse de nos modèles de prédiction.

En outre, dans le but de permettre aux modèles de mieux s'adapter à la variable de réponse, nous avons décidé de transformer la consommation d'énergie totale en sa **racine carrée**. En effet, ce choix a été fait car l'ordre de grandeur de la consommation d'énergie totale est très élevé par rapport aux autres variables numériques.

Ensuite, nous divisons nos données en deux ensembles distincts : l'ensemble d'entraînement et l'ensemble de test. Cette division est cruciale pour évaluer la performance de nos modèles de manière impartiale. L'ensemble d'entraînement est utilisé pour ajuster les paramètres du modèle, tandis que l'ensemble de test est réservé pour évaluer la performance du modèle sur des données non vues. Cette séparation nous permet d'estimer avec précision la capacité de généralisation de nos modèles à de nouvelles données, ce qui est essentiel pour assurer leur validité et leur utilité dans des contextes réels.

Après cette étape de prétraitement, nous avons testé six modèles¹⁴ différents pour expliquer et prédire la consommation énergétique des collègues. Chaque modèle a été sélectionné en fonction de sa pertinence pour l'analyse, en tenant compte de ses capacités à capturer les relations linéaires et non linéaires entre les variables explicatives et la consommation énergétique des collègues.

Voici une liste des modèles testés et leur pertinence pour notre analyse spécifique :

- **Modèle 1 : GLM (Modèle linéaire généralisé) avec une loi Gaussienne.** C'est une méthode de régression qui généralise les modèles linéaires traditionnels en permettant une distribution de probabilité plus flexible pour la variable réponse. Il est particulièrement utile pour modéliser des relations entre variables continues. L'utilisation du GLM avec une loi Gaussienne est pertinente car il permet de modéliser les relations linéaires entre les différentes variables explicatives et la consommation énergétique des collègues. Cette approche nous permet de quantifier l'impact de chaque variable sur la consommation d'énergie de manière directe et interprétable.
- **Modèle 2 : RandomForest (RF).** C'est un algorithme d'apprentissage automatique qui utilise un ensemble d'arbres de décision pour effectuer des prédictions. Chaque arbre de décision est construit à partir d'un sous-ensemble aléatoire des données d'entraînement et utilise différentes variables pour diviser les données en branches. Ce modèle est pertinent car il est capable de capturer les relations non linéaires entre les variables et la

¹⁴ [Type de modèles prédictifs](#)

consommation d'énergie des collègues. Il peut également gérer efficacement les interactions complexes entre les différentes variables explicatives, ce qui en fait un choix approprié pour notre problème d'optimisation énergétique.

- **Modèle 3 : XGBOOST (eXtreme Gradient Boosting).** C'est un algorithme d'apprentissage automatique populaire basé sur le principe du boosting d'arbres de décision. Il construit plusieurs arbres de décision successifs, chacun cherchant à corriger les erreurs des arbres précédents, ce qui lui permet de capturer des relations complexes entre les variables. Il est particulièrement pertinent pour notre analyse en raison de sa capacité à gérer des ensembles de données complexes avec un grand nombre de variables explicatives. Il est également efficace pour modéliser des relations non linéaires et des interactions entre les différentes variables, ce qui est crucial pour optimiser la consommation énergétique des collègues.
- **Modèle 4 : Light GBM (Gradient Boosting Machine légère).** C'est un autre algorithme de boosting basé sur des arbres de décision, mais il se distingue par sa mise en œuvre plus efficace et son temps de formation plus rapide. Il utilise une approche en gradient boosting pour construire des arbres de décision successifs, en se concentrant sur les erreurs résiduelles. Light GBM est approprié pour notre analyse en raison de sa capacité à gérer des ensembles de données volumineux avec efficacité. Il est particulièrement adapté pour modéliser des relations non linéaires et des interactions entre les variables, ce qui est essentiel pour prédire avec précision la consommation énergétique des collègues.
- **Modèle 5 : HistGradientBoosting (HGB).** C'est une variante de l'algorithme de gradient boosting qui utilise une méthode d'histogramme pour accélérer le processus d'apprentissage. Il construit des arbres de décision en utilisant des histogrammes des caractéristiques plutôt que des valeurs individuelles, ce qui permet un temps de formation plus rapide. Ce modèle est pertinent pour notre analyse en raison de sa capacité à traiter de grands ensembles de données avec efficacité, tout en maintenant de bonnes performances prédictives. Son approche basée sur les histogrammes le rend adapté pour gérer des variables catégorielles et des données de type texte, ce qui peut être utile dans notre contexte sachant qu'on en a certaines.
- **Modèle 6 : Stacking.** Le **stacking**, ou **empilement**, est une technique d'ensemble learning où les prédictions de plusieurs modèles de base sont combinées à l'aide d'un méta-modèle (**LGBM**, **RF**, **XGB** et **HGB**). Les prédictions des modèles de base sont utilisées comme caractéristiques d'entrée pour le méta-modèle, qui apprend à pondérer

ces prédictions pour produire la sortie finale. Le stacking est pertinent pour notre analyse car il permet de tirer parti des forces de différents types de modèles pour améliorer la performance prédictive. En combinant les prédictions de plusieurs modèles, le stacking peut atténuer les faiblesses individuelles de chaque modèle et fournir des prédictions plus précises et robustes de la consommation énergétique des collègues. En ajustant les poids des prédictions des modèles de base, le méta-modèle peut apprendre à exploiter les relations complexes entre les variables explicatives et la variable cible, ce qui peut conduire à de meilleures performances globales.

En ce qui concerne l'optimisation des modèles, nous avons pris le soin d'optimiser les hyperparamètres de chaque modèle à l'aide de la librairie Optuna. Optuna est une bibliothèque d'optimisation des hyperparamètres qui utilise des algorithmes pour trouver les meilleures combinaisons de paramètres pour nos modèles. Après 100 essais, Optuna sélectionne les meilleurs paramètres qui minimisent la racine de l'erreur quadratique moyenne (RMSE), ce qui permet d'obtenir des modèles plus précis et plus performants pour la prédiction de la consommation énergétique des collègues.

Toute cette procédure nous a permis de poser les bases d'une analyse comparative approfondie de leurs performances prédictives.

PS : Il est important de rappeler que cet apprentissage se fait sur l'énergie totale consommée.

3.1.1. Sélection de modèle(s)

Maintenant, nous nous tournons vers la phase cruciale d'évaluation des performances de ces modèles. Dans la section présente, nous examinerons de près les résultats obtenus par chaque modèle et les comparerons pour identifier celui qui offre les meilleures performances en termes de prédiction de la consommation énergétique des collèges, tout en étant capable d'expliquer de manière satisfaisante les variations observées. En explorant les forces et les faiblesses de chaque approche sur ces deux aspects fondamentaux, nous serons mieux équipés pour formuler des recommandations précises et exploitables pour l'optimisation énergétique.

Pour cette phase, il est nécessaire d'avoir des métriques qui nous permettent de faire l'évaluation. Nous avons choisi 3 métriques qui sont : le **coefficient de détermination (R2)**¹⁵ (se référer à l'[Annexe n°1](#)), l'**erreur absolue moyenne (MAE)**¹⁶ (se référer à l'[Annexe n°2](#)) et la **racine de l'erreur quadratique moyenne (RMSE)**¹⁷ (se référer à l'[Annexe n°3](#)).

Maintenant nous passons à l'examen des résultats obtenus pour chaque modèle en présentant les performances de manière synthétique dans un tableau récapitulatif. Nous pourrions visualiser plus clairement les forces et les faiblesses de chaque modèle, nous rapprochant ainsi de notre objectif de sélectionner le modèle le plus performant pour finaliser notre étude.

Performance des modèles

Pour évaluer les performances des différents modèles testés, nous avons calculé plusieurs métriques de performance, notamment le R², la MAE et la RMSE. Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus pour chaque modèle :

Tableau 18: Tableau des métriques des modèles testés

	Modèle	R_carré	Annual MAE	Annual RMSE
0	GLM	72.7 %	983605.08	1482334.81
1	RF	99.9 %	164106.03	218918.79
2	XGboost	100.0 %	149553.97	201511.78
3	Light GBM	99.9 %	171951.93	246437.37
4	HistGradientBoosting	99.76 %	126085.17	194529.62
5	Stacking	99.92 %	154623.19	223064.87

¹⁵ [Coefficient de détermination](#)

¹⁶ [Erreur Absolue Moyenne](#)

¹⁷ [RMSE](#)

GLM : Le modèle GLM présente un R^2 de 72.7%, indiquant une capacité modérée à expliquer les variations de la consommation énergétique des collèges. Cependant, sa MAE de 983 605.08 kWh et sa RMSE de 1 482 334.81 kWh sont relativement élevées par rapport aux autres modèles testés. Cela suggère que le GLM pourrait avoir du mal à capturer la complexité des relations entre les variables et la consommation énergétique, ce qui se traduit par des prédictions moins précises.

RF : Le modèle RandomForest affiche un R^2 élevé de 99.9%, indiquant une excellente capacité à expliquer les variations de la consommation énergétique. De plus, sa MAE de 164 106.03 kWh et sa RMSE de 218 918.79 kWh sont parmi les plus élevées parmi les modèles testés, malgré sa précision dans la prédiction des valeurs.

XGBoost : Le modèle XGBoost se démarque avec un R^2 remarquable de 100%, indiquant une capacité exceptionnelle à expliquer les variations de la consommation énergétique. De plus, sa MAE de 149 553.97 kWh et sa RMSE de 201 511.78 kWh sont parmi les plus faibles, démontrant sa précision élevée dans la prédiction des valeurs.

LightGBM : LightGBM présente un R^2 élevé de 99.9%, indiquant une capacité solide à expliquer les variations de la consommation énergétique. De plus, sa MAE de 171 951.93 kWh et sa RMSE de 246 437.37 kWh sont parmi les plus faibles, démontrant sa précision élevée dans la prédiction des valeurs.

HistGradientBoosting: Le modèle HistGradientBoosting affiche un R^2 de 99.76%, indiquant une bonne capacité à expliquer les variations de la consommation énergétique. Ses performances en termes de MAE et de RMSE sont également solides et font partie des meilleures.

Stacking : Le modèle ensembliste Stacking affiche un R^2 assez élevé de 99.92%, indiquant une bonne capacité à expliquer les variations de la consommation énergétique. Ses performances en termes de MAE et de RMSE sont aussi bonnes, soulignant sa précision élevée dans la prédiction des valeurs.

Ces interprétations nous aident à comprendre les forces et les faiblesses de chaque modèle dans la prédiction de la consommation énergétique des collèges.

Choix du modèle

Nous avons décidé de sélectionner le modèle XGBoost pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il affiche un R^2 suffisamment élevé, ce qui indique une excellente capacité à expliquer les variations de la consommation énergétique des collèges. De plus, ses performances en termes

de MAE et de RMSE sont parmi les meilleures de tous les modèles testés. Son fort R^2 a été le facteur qui a le plus influencé notre choix, car il nous permettra d'atteindre nos objectifs.

En outre, il est crucial de prendre en compte la distribution de la consommation énergétique totale (annuelle) des données augmentées, qui varie de 20 238 780 à 28 166 400 avec un écart-type de 2 534 647. En comparant cette plage de valeurs avec la RMSE du modèle XGBoost (201 511.78 kWh), nous constatons que la RMSE est significativement inférieure à l'écart-type de la variable dépendante. Cela indique que ce modèle est capable de fournir des prédictions précises, même pour certaines valeurs extrêmes de la consommation énergétique, ce qui le rend particulièrement adapté à notre objectif d'optimisation énergétique.

De surcroît, XGBoost est connu pour sa capacité à gérer des ensembles de données complexes avec un grand nombre de variables explicatives, ce qui est pertinent compte tenu de la nature multidimensionnelle de notre ensemble de données sur la consommation énergétique des collèges du CD53. En choisissant XGBoost comme modèle principal, nous sommes confiants qu'il nous permettra d'obtenir des prédictions précises et fiables, ainsi que des résultats exploitables pour l'optimisation énergétique.

Analyse des résidus

NB : L'analyse des résidus se fait sur les données finales non augmentées.

Les modèles comme XGBoost sont connus pour leur capacité à gérer les résidus avec une variance non constante et sans supposer une distribution particulière. Cette flexibilité découle de leur capacité à ajuster itérativement les prédictions pour minimiser les erreurs résiduelles, optimisant ainsi la performance prédictive sans présupposer une distribution spécifique des résidus.

Figure 10: Histogramme de la distribution des résidus

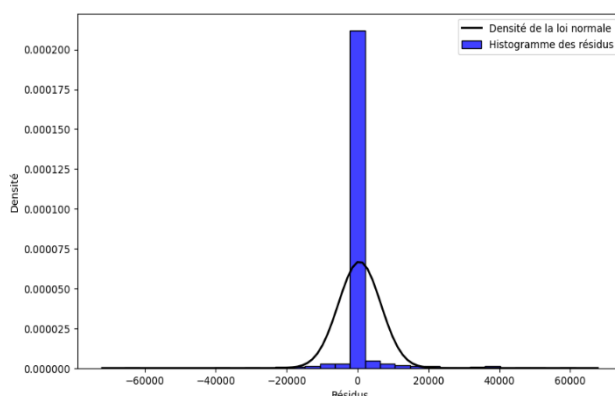
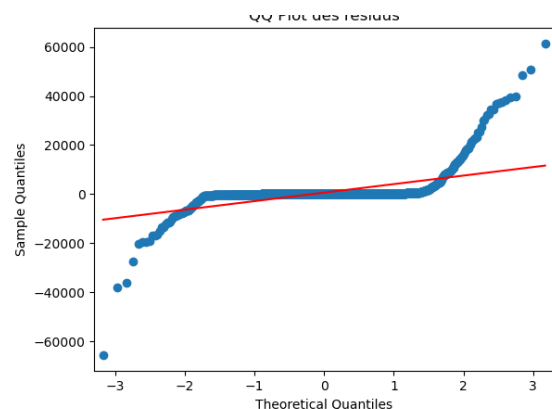


Figure 11: QQ-plot des résidus

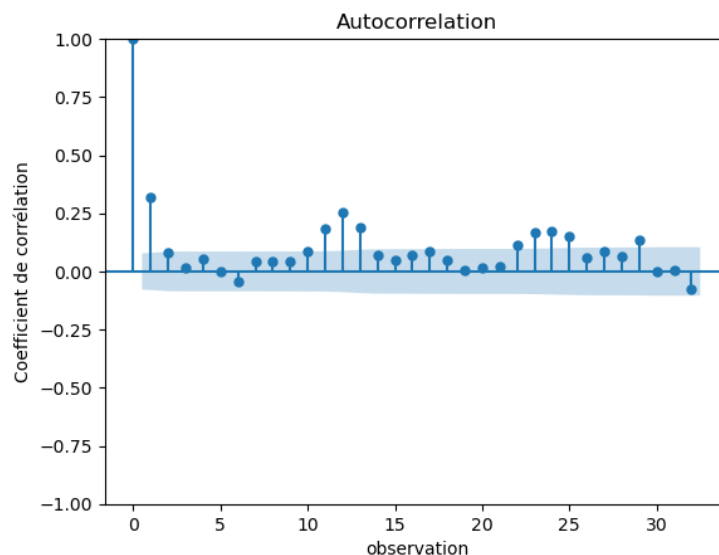


L'histogramme montre que la majorité des résidus se concentrent autour de zéro, ce qui est généralement bon signe car cela indique que le modèle n'a pas de biais systématique.

Cependant, il y a une partie des résidus qui dépasse la courbe de densité normale. Cela signifie que les résidus ne suivent pas une distribution normale parfaite et qu'il y a des valeurs extrêmes. Cependant, cela peut aussi indiquer une concentration élevée des erreurs proches de zéro.

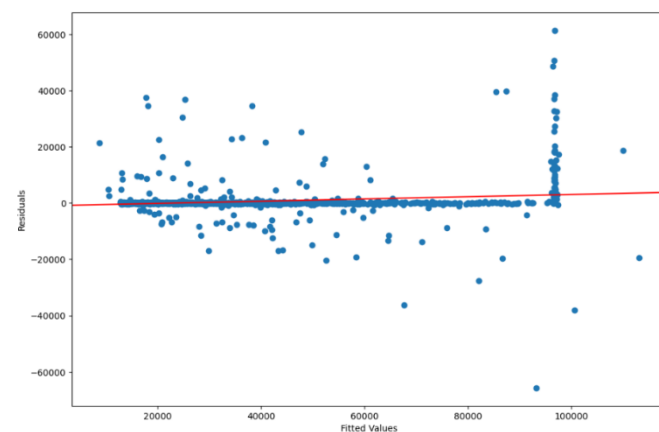
Concernant le QQ-Plot, la ligne rouge représente la distribution normale théorique et les points bleus représentent les quantiles des résidus observés. Si les résidus suivaient parfaitement une distribution normale, tous les points bleus se situeraient sur la ligne rouge. Les points bleus ne suivent pas du tout la ligne rouge, ce qui suggère que les résidus n'ont pas une distribution normale pour la majorité des quantiles. De plus, il y a quelques déviations notables au niveau des extrémités, indiquant la présence de valeurs extrêmes.

Figure 12: Graphique de l'autocorrélation des résidus



Le graphique ci-dessus nous montre que la majorité des résidus n'est pas du tout auto-corrélée dans le temps. Ce qui permet de valider une des hypothèses sur les résidus en économétrie.

Figure 13: Nuage de points de points des résidus par rapport aux valeurs prédites



Nous remarquons sur le graphique ci-dessus, que les résidus sont majoritairement très proches de 0. Cependant, à partir de 95 000 kWh, les résidus augmentent exponentiellement. Ce qui suggère une hétéroscédasticité des résidus et qu'il existe des zones où le modèle ne s'ajuste pas aussi bien.

Cependant, comme évoqué précédemment, les modèles de boosting ne supposent pas de distribution particulière des résidus et une certaine hétéroscédasticité est courante et généralement acceptée. Ce qui signifie que la non-normalité et l'hétéroscédasticité des résidus n'affectent pas les prédictions du modèle. De plus l'absence d'autocorrélation des résidus nous rassure dans l'analyse des résidus.

3.1.2. Interprétation du (des) modèle (s) choisi (s)

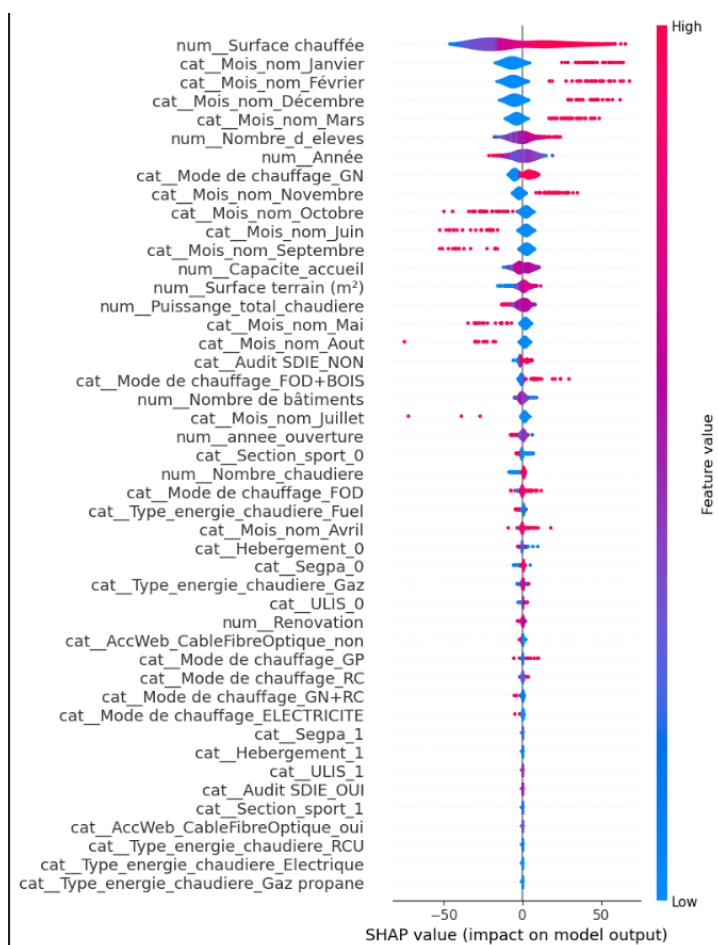
Ayant établi le XGBoost comme le modèle de prédiction le plus performant pour notre analyse de la consommation énergétique des collèges, nous allons maintenant nous pencher sur une exploration approfondie de son fonctionnement interne et de ses résultats. Cette démarche vise à décomposer les mécanismes grâce auxquels le XGBoost parvient à des prédictions aussi précises, en se concentrant sur l'importance des variables et leur impact sur la consommation énergétique totale.

Cette interprétation nous permettra de comprendre en profondeur comment le modèle parvient à capturer et à exploiter les nuances des données, ce qui est crucial pour les recommandations futures concernant la gestion de l'énergie dans les collèges publics.

Pour cela, nous utiliserons les SHAP values, une technique puissante permettant d'analyser l'importance des variables et leur impact sur les prédictions du modèle.

Les SHAP (SHapley Additive exPlanations) values sont une méthode d'interprétation de modèle qui attribue à chaque variable une contribution à chaque prédiction du modèle. Ci-dessous, vous trouverez un schéma des SHAP values pour notre modèle XGBoost.

Figure 14: Schéma des SHAP values du modèle



Dans l'analyse des SHAP values, chaque ligne représente une variable explicative, tandis que les couleurs des points indiquent la valeur de la variable, variant du bleu (valeurs basses) au rouge (valeurs élevées). En examinant ce schéma, plusieurs observations importantes émergent :

- Les variables correspondant aux mois de novembre à avril affichent des SHAP values positifs, ce qui concorde avec la saison de chauffage durant cette période. À l'inverse, les mois de mai à octobre présentent des SHAP values négatifs, suggérant une moindre contribution à la prédiction de la consommation énergétique, en phase avec la baisse d'utilisation du chauffage pendant ces mois.
- La variable Année affiche des SHAP values négatifs, indiquant une influence défavorable sur la consommation énergétique. Cette tendance confirme la diminution progressive de la consommation énergétique au fil des années, suggérant des améliorations dans l'efficacité énergétique des collèges.
- La variable "Renovation" présente des SHAP values négatifs, suggérant une contribution négative à la prédiction de la consommation. Cette observation suggère que

les collèges ayant connu des travaux de rénovation ont tendance à consommer moins d'énergie que les autres.

- Les modes de chauffage affichent tous des SHAP values différents, indiquant une contribution différente à la consommation énergétique. Cependant, l'impact du mode de chauffage à l'électricité semble être le plus favorable à la baisse de la consommation énergétique et celle du fioul et du gaz naturel semblent en être plus défavorable.
- Concernant les types d'énergie de chaudière, le fioul (Fuel) et le gaz naturel (Gaz) ont les SHAP values les plus prononcés, sachant que pour le fioul on a des SHAP positifs et négatifs à la fois.
- La surface chauffée et le nombre d'élèves ont des SHAP values positifs, suggérant ainsi un impact positif de ces variables sur la consommation énergétique des collèges.
- L'absence d'Hébergements et de section sport affichent des SHAP values négatifs. Suggérant que, l'absence d'hébergement et/ou de section sport fait baisser la consommation d'énergie.

Cependant, on note quelques observations aberrantes à l'analyse du schéma :

- L'absence d'ULIS et de SEGPA affiche des SHAP values positifs. Ces observations nous montrent que, l'absence de SEGPA et/ou d'ULIS fait croître la consommation énergétique.
- L'absence d'audit SDIE présente des SHAP values positifs. Cette observation suggère que l'absence d'audit SDIE dans un collège fait croître la consommation énergétique.

Après avoir examiné en détail le modèle de prédiction et ses interprétations, il est essentiel d'envisager des pistes d'amélioration concrètes pour réduire la consommation d'énergie des collèges du CD53. Cette étape permettra de traduire les résultats obtenus de l'analyse des modèles et des tendances observées en actions tangibles visant à optimiser la sobriété énergétique des établissements scolaires.

3.1.3. Pistes d'amélioration pour réduire la consommation d'énergie des collèges

Dans cette section, nous explorerons différentes stratégies et initiatives potentielles pouvant être mises en œuvre dans les collèges pour réduire leur consommation d'énergie. Ces pistes d'amélioration pourront couvrir un large éventail de domaines.

Enfin, en présentant ces pistes d'amélioration, nous viserons à fournir aux responsables des collèges publiques des recommandations pratiques et réalisables pour les aider à mettre en place des mesures visant à réduire leur consommation d'énergie et à promouvoir la durabilité environnementale au sein de leurs établissements.

Voici quelques-unes des principales pistes d'amélioration à envisager, en nous basant sur les analyses précédentes :

- Pour les cuisines fonctionnant au propane, changer de fournisseurs en optant pour ceux proposant du gaz naturel ou de l'électricité (Le GP et le FOD sont des sources très émettrices de CO₂) ;
- Interdire les chaudières et le chauffage au fioul domestique et au propane afin de diminuer massivement l'empreinte carbone des collèges du CD53 ;
- Faire un audit SDIE et un audit énergétique pour tous les collèges ;
- Favoriser les énergies renouvelables (réseau chaleur, bois déchiqueté) pour le chauffage, sinon l'électricité en cas d'indisponibilité locale ;
- Effectuer des travaux de rénovation pour les collèges anciens ;
- Réduire la surface chauffée de tous les collèges, en ne chauffant plus les couloirs et les locaux de stockage par exemple.

La mise en œuvre des solutions pour améliorer la performance énergétique des collèges et réduire leur empreinte carbone implique des prérequis comme l'adaptation des infrastructures, la disponibilité de fournisseurs d'énergie, le confort des occupants et des financements conséquents. Les limitations incluent les coûts initiaux élevés, la nécessité de formation spécialisée, la prise en compte du confort des occupants et les contraintes locales d'accessibilité.

Un audit énergétique et SDIE est crucial pour identifier les besoins spécifiques, tandis que des travaux de rénovation nécessitent des fonds et une planification solides. Enfin, changer le mode de chauffage d'un collège nécessite une évaluation des ressources locales et une infrastructure adaptée.

3.2. Prévisions de la consommation d'énergie des collèges et des dépenses associées

Avant de prévoir les consommations d'énergie des collèges et les dépenses associées, nous avons choisi d'utiliser un modèle XGBoost pour modéliser les dépenses globales en fonction des consommations d'énergie et d'autres variables influençant cette consommation. Nous avons suivi la même approche que pour la modélisation de la consommation d'énergie : augmentation des données, application de la Winsorization, puis division des données en un ensemble d'entraînement (pour entraîner le modèle) et un ensemble de test (pour évaluer la capacité prédictive du modèle).

Il affiche un R^2 de 99.93%, ce qui indique une bonne capacité à capturer la variance des dépenses totales par rapport aux variables explicatives. Il présente une MAE de 2 025,52 € et une RMSE de 2 309,79 €. Ces performances sont excellentes, sachant que les dépenses annuelles de l'ensemble de test varient de 649 545 à 1 408 760 €, avec un écart-type de 289 249 €. En effet, la RMSE représente moins de 10% de l'écart-type, ce qui démontre la précision des prédictions de ce modèle.

Figure 16: Graphique de comparaison entre les consommations énergétiques prédites et réelles

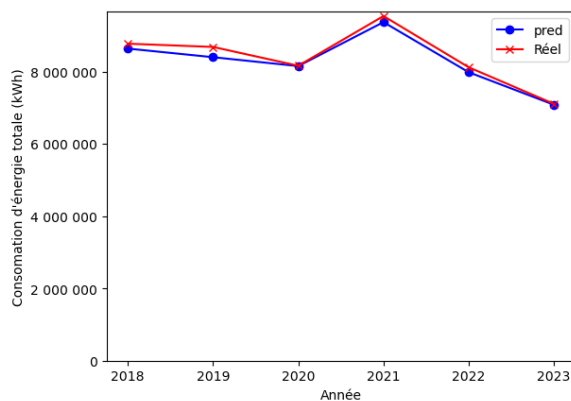
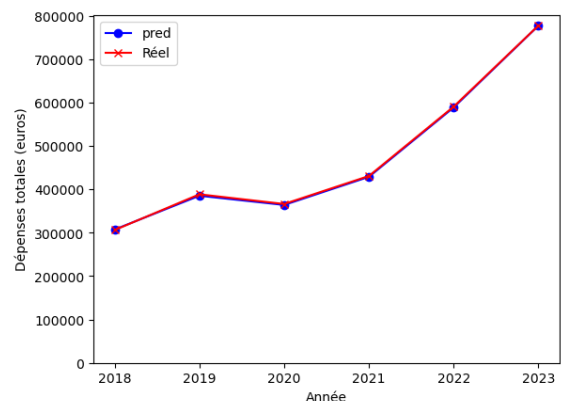


Figure 15: Graphique de comparaison entre les dépenses énergétiques prédites et réelles



Les deux graphiques ci-dessus comparent les prévisions issues des données non augmentées avec les valeurs réelles disponibles. Le premier graphique illustre la consommation totale d'énergie annuelle en kWh, tandis que le second montre les dépenses totales annuelles en euros.

Dans les deux cas, les prévisions sont étroitement alignées avec les valeurs réelles, indiquant que les modèles choisis sont robustes et précis. Les prévisions de la consommation d'énergie et des dépenses associées montrent une cohérence remarquable avec les données réelles, ce qui renforce notre confiance dans l'utilisation de ces modèles pour des prévisions futures jusqu'à l'horizon 2040. Une telle précision dans les prévisions est cruciale pour une planification efficace et une gestion optimisée des ressources énergétiques et budgétaires.

Prévisions futures jusqu'à l'horizon 2040

Forts des performances solides de notre modèle, nous allons maintenant utiliser ces deux modèles XGBoost pour projeter la consommation d'énergie et les dépenses associées des collèges jusqu'à l'horizon 2040. Ces projections seront réalisées pour deux scénarios distincts :

- Scénario 1 (en noir) : les caractéristiques des collèges restent les mêmes qu'en 2023, avec une augmentation du nombre d'élèves de 0,1% chaque année jusqu'à atteindre la capacité d'accueil, suivie d'une baisse de 0,1%.
- Scénario 2 (en rouge) : les améliorations énergétiques suggérées sont mises en œuvre. Cela inclut la rénovation, des audits SDIE et énergétiques dans tous les collèges en 2023, le remplacement des systèmes de chauffage au fioul ou au propane par des systèmes électriques et la réduction des surfaces chauffées de 10%. La même hypothèse de croissance du nombre d'élèves est appliquée.

En comparant ces deux scénarios, nous pourrions non seulement anticiper les besoins énergétiques futurs, mais aussi évaluer l'impact potentiel des mesures d'amélioration sur la consommation et les coûts énergétiques à long terme.

Figure 18: Prévision de la consommation énergétique des collèges du CD53, de 2024 à 2040

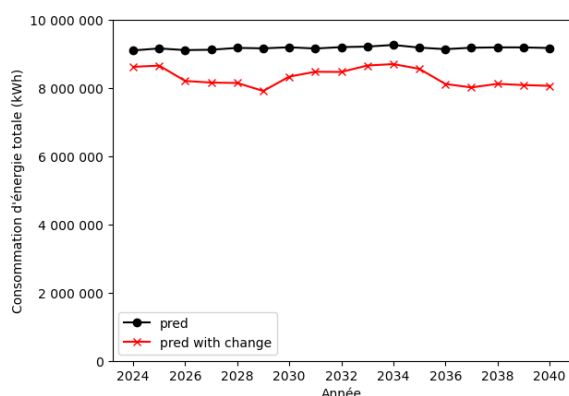
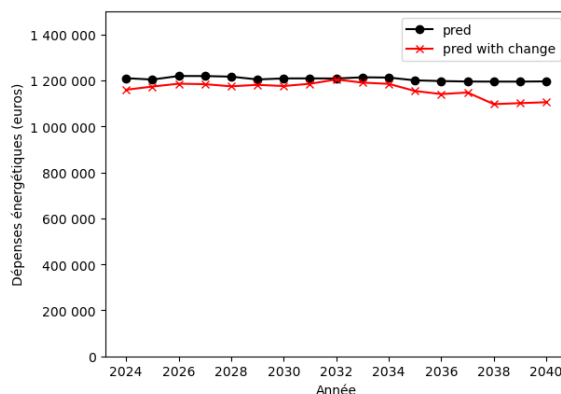


Figure 17: Prévision des dépenses énergétiques des collèges du CD53, de 2024 à 2040



Les deux graphiques ci-dessus représentent les prédictions dans les 2 scénarios.

Dans le scénario sans changement (en noir), la consommation d'énergie reste stable mais connaît une légère augmentation. En revanche, dans le scénario avec les changements proposés (en rouge), la consommation d'énergie est significativement réduite, avec une baisse moyenne de 860 000 kWh par rapport au scénario sans changement.

Concernant les dépenses en énergie, le scénario sans changement (en noir) montre des dépenses énergétiques relativement stables. En revanche, dans le scénario avec les changements

proposés (en rouge), les dépenses énergétiques sont plus faibles. Cette diminution s'explique par le fait que la réduction de la consommation est plus importante que le coût plus élevé de l'électricité par rapport au propane ou au fioul. Ce qui se traduit par des économies moyennes de 44 700 € pour financer les dépenses énergétiques des 26 collèges.

Ces résultats indiquent que les améliorations proposées réduisent la consommation d'énergie et les dépenses associées en raison de l'efficacité énergétique des établissements.

3.3. Bilan

Cette étude visait à prédire la consommation d'énergie et à proposer des solutions pour la réduire dans les collèges publics de la Mayenne (sauf 1) de 2024 à 2040.

Pour cela, nous avons utilisé une approche qui consiste à augmenter les données pour équilibrer les catégories sous-représentées et améliorer leur représentativité. Les données augmentées sont ensuite divisées de manière aléatoire en ensembles d'entraînement et de test. Les modèles sont entraînés et testés sur ces données augmentées, les résultats sont interprétés à l'aide de techniques comme SHAP pour identifier les variables influentes.

En effet, notre processus de modélisation a débuté par un traitement rigoureux des données. Nous avons entrepris une augmentation des données afin d'éviter la sous-représentation de certaines catégories, suivi de la Winsorization et de la transformation de la consommation en sa racine carrée pour mieux prendre en compte sa distribution. Ensuite, nous avons divisé les données augmentées en ensembles d'entraînement et de test avant de tester 6 différents modèles. Parmi ceux-ci, nous avons sélectionné le modèle XGB, jugé le plus performant en termes de R^2 , de RMSE et de MAE.

Ensuite, nous avons identifié diverses solutions pour réduire la consommation d'énergie des établissements étudiés grâce à l'analyse des SHAP. Ces solutions incluent notamment le changement de fournisseurs pour les cuisines utilisant du propane, ainsi que l'interdiction des chaudières et du chauffage au fioul domestique et au propane. Nous avons également recommandé des audits énergétiques, la réduction des espaces chauffés et des travaux de rénovation pour favoriser la sobriété énergétique dans les établissements.

Enfin, nos résultats ont révélé une concordance étroite entre les prévisions de nos modèles et la réalité observée. Les métriques de performance telles que le R^2 , les RMSE et les MAE ont confirmé la robustesse de nos modèles. En comparant un scénario sans changements significatifs à celui où nos solutions sont mises en œuvre, nous avons constaté des prévisions

de consommation et de dépenses énergétiques plus élevées, notamment en raison de l'efficacité énergétique des collèges rénovés.

Nous avons opté pour cette approche car l'utilisation de techniques d'augmentation des données permet de compenser le déséquilibre des classes, améliorant ainsi la capacité du modèle à généraliser. En équilibrant les données, les modèles entraînés peuvent mieux capturer les relations entre les variables. De plus, avec des données augmentées, les valeurs SHAP deviennent plus interprétables, permettant une meilleure identification des leviers d'action pour réduire la consommation d'énergie.

Cependant, l'augmentation des données peut introduire un biais si les nouvelles instances synthétiques ne reflètent pas correctement la variabilité réelle des données, ce qui peut entraîner un surapprentissage. Même avec une validation croisée, le modèle peut surapprendre des détails spécifiques aux données augmentées. De plus, les résultats obtenus avec des données augmentées peuvent ne pas être généralisables à d'autres ensembles de données (autres collèges), car ils dépendent fortement des caractéristiques des données d'origine. La pertinence des solutions proposées pourrait être limitée aux collèges spécifiques étudiés. Bien que les valeurs SHAP soient plus interprétables avec des données équilibrées, l'augmentation artificielle des données peut parfois rendre difficile la distinction entre les effets réels et les artefacts introduits. Enfin, les métriques de performance (comme le RMSE) peuvent être trop optimistes en raison de l'augmentation des données, donnant une fausse impression de la performance du modèle.

Malgré tout, cette approche est justifiée par le contexte spécifique de l'étude, qui vise à fournir des solutions spécifiques pour les collèges publics de la Mayenne sans chercher à généraliser les résultats à d'autres contextes. La priorité est donnée à l'interprétabilité et à l'identification de leviers d'action spécifiques plutôt qu'à la généralisation. Les résultats obtenus permettent de proposer des actions concrètes et spécifiques pour réduire la consommation d'énergie dans les 26 collèges étudiés. L'augmentation des données aide à mieux capturer les tendances et les relations, fournissant ainsi des visions utiles. La méthodologie suit une approche rigoureuse d'augmentation des données et de validation croisée, assurant une évaluation équilibrée des performances du modèle. L'utilisation des valeurs SHAP garantit que les solutions proposées sont basées sur une compréhension détaillée des facteurs influençant la consommation d'énergie.

En conclusion, la consommation énergétique des collèges montre une tendance à la baisse globale. Ce qui montre que les actions entrepris par le CD53 ont porté leurs fruits. Cependant, les dépenses ont augmenté en raison de la flambée des prix de l'énergie.

Pour accentuer cette tendance de baisse, plusieurs mesures ont été proposées, dont le changement de fournisseurs pour les cuisines utilisant du propane, l'interdiction des chaudières fonctionnant au GP ou au FOD, la réalisation d'audits énergétiques et SDIE, la réduction des espaces chauffés ainsi que des travaux de rénovation pour tous les collèges.

Pour évaluer l'impact de ces propositions, deux scénarios ont été envisagés. Dans le premier scénario, qui maintient les caractéristiques actuelles des collèges, la consommation énergétique reste relativement stable. Cependant, dans le deuxième scénario, les améliorations énergétiques sont mises en œuvre, ce qui se traduit par une baisse moyenne de 860 000 kWh de consommation entre 2024 et 2040, par rapport au premier scénario. Suivant cette baisse de la consommation, les dépenses diminuent de 44 700 € en moyenne dans le deuxième scénario, principalement en raison des performances énergétiques des collèges.

Dans le cadre du deuxième scénario, les principales transformations incluent la conversion des systèmes de chauffage au fioul et au propane en systèmes électriques, ainsi que la mise en place d'audits énergétiques et SDIE dans tous les collèges, la réduction de 10% de la surface chauffée et la rénovation de ces établissements. Ces changements sont conçus pour améliorer la consommation énergétique à long terme. Toutefois, il est important de noter que ces hypothèses peuvent ne pas refléter entièrement la réalité, et des ajustements supplémentaires pourraient être nécessaires pour obtenir des résultats plus précis, notamment au regard des prédictions sur les effectifs scolaires qui sont annoncés à la baisse.

Cependant, la mise en œuvre de ces solutions implique des prérequis comme l'adaptation des infrastructures, le confort des usagers, la disponibilité de fournisseurs d'énergie et des financements conséquents. En effet, les défis majeurs de cette implémentation seront les coûts initiaux élevés, la nécessité de trouver une main d'œuvre, la prise en compte du confort des occupants et les contraintes locales d'accessibilité à l'énergie.

Partie 2 : Bilan d'activité

1. Présentation de la collectivité

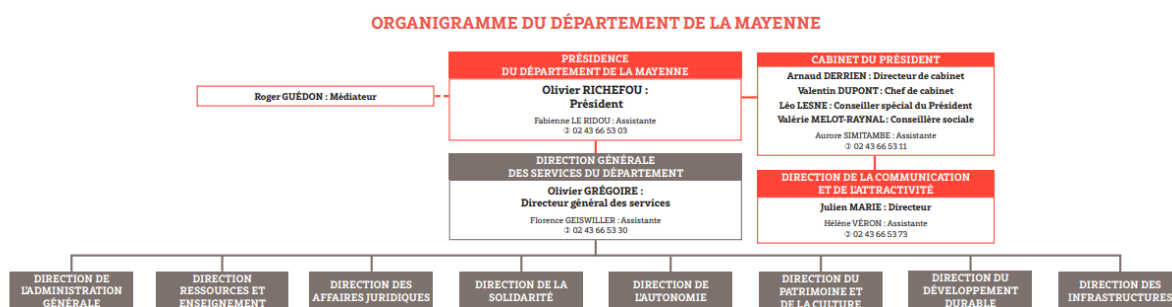
1.1. Le Conseil départemental de la Mayenne

Le département de la Mayenne se trouve dans la région du Pays de La Loire. Elle s'étend sur 5175 km^2 et compte 306 000 habitants en son sein. Ce département est divisé en 240 communes.

Le département exerce les compétences qui lui sont confiées par la loi. Certaines sont obligatoires, d'autres facultatives. Il exerce ses compétences dans 4 champs principaux : **Solidarité, action sociale et santé ; Education, culture et sport ; Développement du territoire-économie et emploi ; Environnement et développement durable, sécurité.**

Le conseil départemental est présidé par Mr. RICHEFOU et est composé 34 conseillers départementaux. Il compte en son sein 1570 agents. Voici comment la collectivité est divisée :

Figure 19: Organigramme du CD53

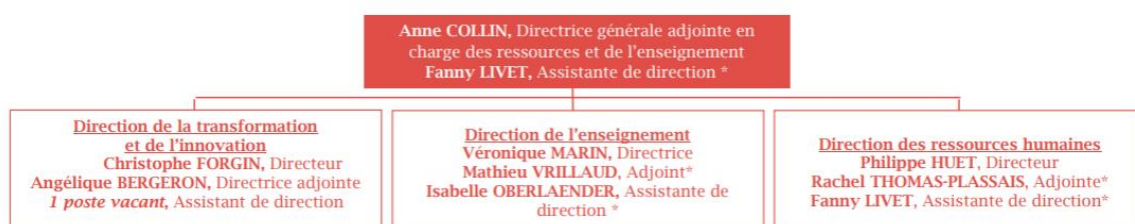


Nous suivons notre apprentissage au sein de la Direction des Ressources et de l'Enseignement. La direction a pour but d'investir pour la réussite éducative des collégiens et des étudiants, de les sensibiliser aux métiers de l'entreprise et de contribuer à la qualité de vie et à l'épanouissement personnel des Mayennais par l'accès à la citoyenneté. Elle est divisée comme suit :

Figure 20: Organigramme de la DRE

Direction ressources et enseignement

Adresse : Hôtel du Département, 39 rue Mazagran - CS 21429 53014 LAVAL - Tel : 02 43 66 53 17

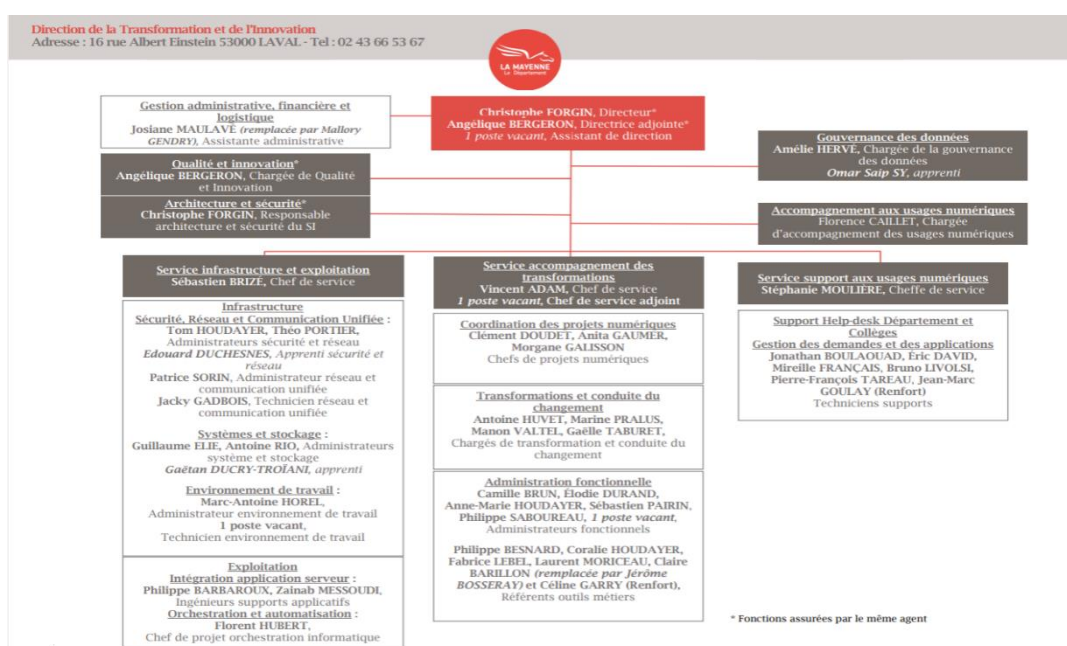


1.2. La Direction de la Transformation et de l'Innovation

Nous sommes plus précisément à la Direction de la Transformation et de l'Innovation. Elle est essentielle au CD53 car elle regroupe les métiers liés à l'informatique et à l'accompagnement aux nombreux changements professionnels provoqués par le numérique.

Elle a la responsabilité de superviser l'ensemble des aspects relatifs aux technologies et à l'informatique. Elle se compose de 3 services distincts et 5 missions indépendantes, répartis de la manière suivante :

Figure 21: Organigramme de la DTI



Gestion administratif, financière et logistique : Directement rattachée à la direction, elle assure le bon fonctionnement de la DTI. En effet, il s'occupe de l'accueil des visiteurs, de la gestion des véhicules, du bâtiment et du parc informatique, ainsi que du suivi des commandes, des marchés et contrats, et des commissions (c'est-à-dire les réunions entre les élus du CD53 afin de traiter les demandes des directions).

Service support aux usages numériques : Ce service est subdivisé en deux équipes : l'une s'occupe des agents du CD53 et l'autre s'occupe des élèves et professeurs des collèges du CD53. C'est un service qui s'occupe essentiellement de la préparation de postes informatiques, de l'affectation de ces postes informatiques aux agents, de l'installation et de la rétribution des matériels informatiques, ainsi que de la résolution des incidents techniques et matériels.

Service Infrastructure et exploitation : Il est subdivisé en 3 équipes : Sécurité et réseau, Systèmes et infrastructures et Exploitation. Il s'occupe de tout ce qui se rapporte à l'installation

des réseaux, à leur surveillance ainsi que leur maintenance. Il prend en charge aussi des organes de sécurité, de la sauvegarde de données, du gestionnaire d'identité, ainsi que l'architecture du réseau et les droits d'accès des utilisateurs. En outre, le déploiement et l'installation technique des applications internes, ainsi que des bases de données (Oracle, MariaDB, ...) font partie du périmètre d'action de ce service.

Service accompagnement des transformations : C'est le service qui se trouve au plus près des métiers. Il est subdivisé en 3 équipes : la Coordination des Projets Numériques, la Transformation et la Conduite du Changement et l'Administration Fonctionnelle. C'est le service qui assure la commande publique, le suivi des marchés publics. Il accompagne aussi les directions dans leur transformation numérique, c'est-à-dire réorganiser les directions en les aidant à dématérialiser leur mode de travail, en les formant sur la nouvelle réorganisation et en les intégrant aux projets de transformation. Il prend en charge aussi les paramétrages des logiciels (c'est-à-dire d'adapter l'outil aux besoins des usagers).

Accompagnement aux usages numériques : Cette mission est essentielle à la montée en compétence des agents du CD53. Il assure l'accompagnement à tous les changements numériques. En effet, cela passe par la conception et le développement de contenu de formation, l'évaluation des compétences numériques.

Gouvernance des données : Cette mission s'occupe de tout ce qui est lié aux données. C'est là où je suis mon apprentissage auprès de la chargée de gouvernance des données.

1.3. La gouvernance des données

« The open data movement has reached a significant and ever-growing number of states and governments. From New York to Paris, from Nairobi to Singapore, an increasing number of territories offer open sets of data (Chignard, 2013). »

L'idée de la mise à disposition des données ouvertes se répand petit à petit dans plusieurs secteurs, notamment le secteur public dès les années 2000. C'est pourquoi la création d'une mission gouvernance des données s'inscrit dans le plan général de l'État et des collectivités afin de fournir des données publiques (« open data »). Au printemps 2009 les États Unis lancent leurs plateforme « data.gov », suivis un an plus tard, en 2010, par le Royaume-Uni. Ce sont les premiers sites qui regroupent et donnent accès gratuitement à des données gouvernementales (Nicolas, 2011). En même temps, les collectivités territoriales pionnières en France, la ville de Rennes¹⁸ puis de Paris¹⁹, ont créé le premier portail de données ouvertes avec pour objectif de fédérer la communauté de réutilisateurs de données et de tenter d'animer le territoire autour de l'open-data.

Au cours de la dernière décennie, le mouvement Open Government Data a mis en évidence avec succès la valeur des données et encouragé les gouvernements à ouvrir les informations pour les réutiliser à la fois à l'intérieur et à l'extérieur du secteur public. La prise de décision devient de plus en plus importante dans le paysage des affaires d'aujourd'hui, les leaders des données, tels que les Chief Data Officers ou chargé(e) de la gouvernance de la donnée, sont confrontés à une multitude de responsabilités et à des ressources limitées.

Le Département de la Mayenne a choisi d'aller plus loin en mettant en valeur ses données internes, créant ainsi des jeux de données privées (« Close data ») utilisés notamment par les élus et les managers afin de bénéficier d'un accès centralisé aux tableaux de bord. C'est dans ce contexte que j'ai été affecté en tant qu'apprenti data scientist/data analyst, pour contribuer à la transformation numérique de l'institution.

Conscients de l'importance des enjeux liés à la donnée, Amélie Hervé a été nommée chargée de la gouvernance des données par le département. Elle est responsable de la gouvernance des données de la collectivité, ainsi que des projets d'opendata et de closedata. Elle établit alors une feuille de route de la mission de la Gouvernance des données au CD53.

¹⁸ [Rennes Métropole ouvre ses données](#), Rennes Métropole

¹⁹ [Paris ouvre ses données publiques](#), Paris Opendatasoft

Tableau 19: La feuille de route de la mission de la gouvernance des données au CD53

Gouvernance interne (stratégie data)	<ul style="list-style-type: none"> - Définition stratégie data. - Cohérence de mise en œuvre de la gouvernance. - Animation de la démarche (réseau data interne, alimenter contribuer aux instances de pilotage, acculturation data et harmonisation des pratiques).
Architecture Data	<ul style="list-style-type: none"> - Cartographie des données. - Être garant de l'intégrité de la cartographie du SI. - Spécifier les standards et référentiels. - Participer à l'outillage en termes de gestion des données.
Cycle des données	<ul style="list-style-type: none"> - Intégration de données, consolidation, nettoyage. - Démarche de mise en qualité (modes opératoires garantissant la qualité des données : process, référencement, contrôle, intégrité). - Apporter une expertise dans les choix d'outils de diffusion / construction métadonnées. - Processus données (identifier processus existants, volet data dans projet de transformation numérique).
Valorisation	<ul style="list-style-type: none"> - Open data : stratégie interne open data & garantir conformité des données & Animer réseau des acteurs départementaux. - Observatoire départemental : outil de connaissance fine du territoire, à partir de croisements de données (open data, données métiers, SIG, données de capteurs expérimentations SMO, ...). - Closed data : paramétrages et construction des valorisations des données de pilotage, statistiques.

Source : La gouvernance des données comme contribution à la transformation d'une collectivité (Amélie Hervé, 2021)

Comme Data Analyst dans la DTI, je contribue à la promotion d'une gouvernance des données ouvertes plus efficace en utilisant les données pour améliorer les performances de l'organisation et en encourageant la collaboration et le partage des données entre les différents services.

2. Tâches réalisées

2.1. Formation

Durant mes premiers mois au sein de la collectivité, la première tâche était de connaître la collectivité et ses différentes compétences et de me former à l'utilisation d'Opendatasoft²⁰.

Opendatasoft est une plateforme SaaS all-in-one qui permet à toutes les équipes de créer et diffuser rapidement des expériences data qui nourrissent leurs écosystèmes ; elle donne le pouvoir à chacun dans les organisations de créer et partager rapidement des expériences data impactantes. Elle répond au besoin des organisations de diffuser des expériences data qui puissent être consommées par tout le monde dans leurs écosystèmes (clients, partenaires, agents, citoyens, etc.).

Cette formation était nécessaire dans le but de pouvoir utiliser le closedata (plateforme de partage de données internes et de réalisation des tableaux de bord pour réussir les projets entrepris).

2.2. Mission Bas carbone du département de la Mayenne

Dans le but de lutter contre le réchauffement climatique et d'anticiper les adaptations nécessaires au travers d'une démarche ambitieuse visant à mobiliser les territoires, les acteurs et l'ensemble des habitants du département, le CD53 met en place un « Agenda bas carbone ». Le département ambitionne de devenir le premier département « bas carbone » de France, en réduisant l'émission carbonée de ses activités.

En 2022, le conseil départemental a réalisé son premier bilan gaz à effet de serre, à partir des activités du Département de 2019. Le résultat de ce BEGES avait été intégré dans une première version d'un tableau de bord : "Bas Carbone". La direction en charge de la démarche bas carbone a demandé à la DTI – Mission Gouvernance des données, de compléter ce tableau de bord avec des informations concernant les émissions de gaz à effet de serre du département, par EPCI et/ou par secteur d'activité qui serait mis à disposition de tous les agents et des élus du CD53, dans le closedata. Pour y arriver, nous avons à notre disposition 3 jeux de données déjà prêts à être utilisés.

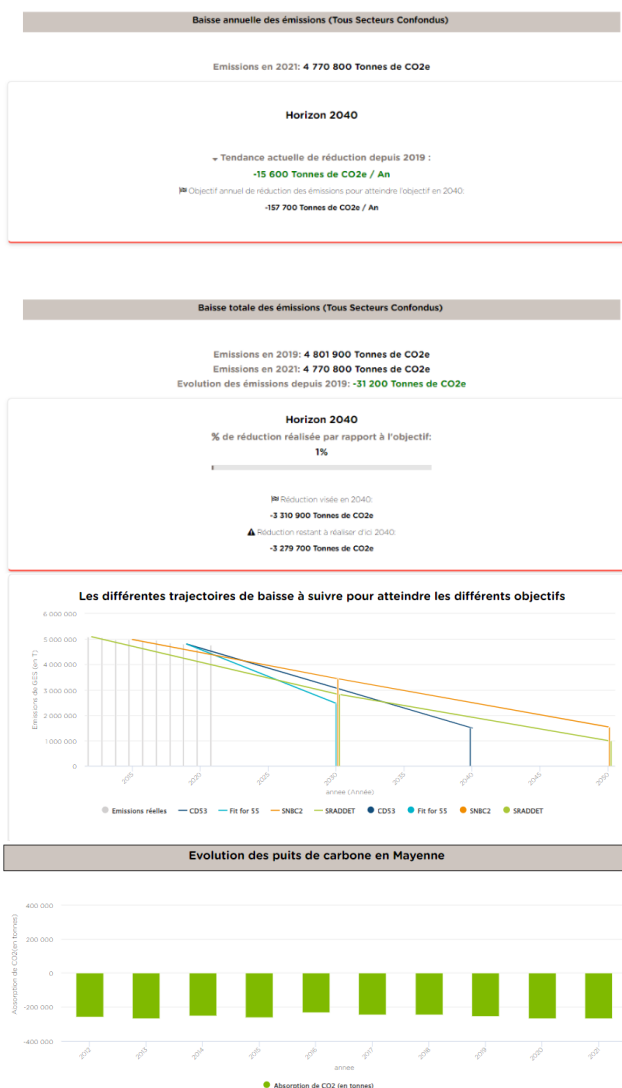
Le tableau de bord est divisé en 4 parties : l'entête, l'évolution des émissions de GES, la comparaison des émissions par rapport aux objectifs de réductions et l'évolution des puits de carbone.

²⁰ [OpenDataSoft](https://opendatasoft.com/)

Figure 23: Tableau de bord bas carbone (1/2)



Figure 22 : Tableau de bord bas carbone (2/2)



Entête : Sur cette partie on peut voir une description de la provenance des données, ainsi que deux filtres, qui permettent de filtrer le tableau de bord à la maille EPCI et/ou secteur d'activité.

Evolution des émissions de GES : Cette partie comprend une partie descriptive sur les émissions de GES prises en compte et un graphe de l'évolution des émissions de GES de 2012 à 2021, par secteur d'activité en Mayenne.

Comparateur des émissions par rapport aux objectifs de réductions : Elle comprend une partie listant les différents objectifs de réduction de GES (objectifs départementaux, régionaux, nationaux), ainsi qu'un filtre pour choisir l'objectif sur lequel se focaliser ; Il y a ensuite des indicateurs qui, pour chaque horizon de réduction, présentent la baisse réalisée ainsi

que la quantité restante à diminuer pour atteindre l'objectif. Ces indicateurs sont la tendance de réduction annuelle et en réduction réalisée. Elle contient aussi un graphique qui synthétise les émissions de 2012 à 2021 permettant de les situer par rapport aux différents objectifs, à différents horizons.

Evolution des puits de carbone : Elle contient un graphique sur la quantité de CO2 absorbée de 2018 à 2021.

Ce tableau de bord permet de suivre les émissions de CO2 du département, de voir si les objectifs de réduction fixés sont atteignables ou s'il faudrait faire plus d'effort pour les atteindre, de voir si les mesures mises en place ont été impactantes ou non.

2.3. Mission Sobriété énergétique du Conseil départemental de la Mayenne

Le CD53 vise la neutralité carbone en 2040. Pour atteindre cet objectif, le département propose de mettre en place un Plan de Sobriété Énergétique. En effet, avec la réalisation du BEGES à partir des activités de 2019 a permis de voir que les bâtiments représentent plus de la moitié de la consommation totale d'énergie du département. Ce qui indique à quel point le patrimoine bâtiminaire du CD53 est important dans la consommation du département.

De ce fait, nous avons mis à disposition de tous les agents de la collectivité (en closedata) un tableau de bord de suivi de la consommation d'électricité et de gaz des sites du CD53.

Pour y arriver, nous avons à notre disposition 4 jeux de données (1 sur les sites du CD53, 1 sur la consommation électrique, 1 sur la consommation de gaz et 1 sur les corrections climatiques DJU) qu'il fallait joindre. Cette étape de jointure a été la phase chronophage car la clé de jointure entre les différents jeux de données était incomplète dans le jeu de données des sites du CD53 (jeu de données centrale). Il nous a fallu traiter les données des sites du CD53, en complétant les points de livraison d'électricité et de gaz de chaque site. Ce qui nous a permis de joindre minutieusement afin d'avoir un jeu de données final qui alimente le tableau de bord.

Ce tableau de bord est réparti comme suit : l'entête, état des consommations et l'évolution des consommations.

Figure 24: Tableau de bord de suivi de la consommation des sites du CD53 (1/2)



Figure 25 : Tableau de bord de suivi de la consommation des sites du CD53 (2/2)

SECTION: Tableau d'évolution de la consommation

Tableau de l'évolution de la Conso totale de tous les sites du CD53

Mois	Mois(Nom)	Conso2022	Conso2023	Evolution entre 2022 et 2023(en %)
1	janvier	782 048,13	767 338,77	-1,88
2	février	679 197,83	675 327,61	-0,57
3	mars	615 370,27	824 992,28	34,06
4	avril	430 505,65	331 746,78	-22,94
5	mai	203 912,55	190 314,02	-6,67
6	juin	180 643,18	177 624,35	-1,67
7	juillet	182 220,30	168 199,58	-7,69
8	août	187 134,13	170 576,09	-8,85
9	septembre	191 357,47	171 118,87	-10,58
10	octobre	219 770,97	184 950,07	-15,84
11	novembre	471 716,73	154 418,26	-67,26
12	décembre	688 184,00		0,00
		4 832 061,21	3 816 606,68	-21,01

Entête : Sur cette partie on peut voir des filtres qui permettent de filtrer le tableau de bord par sites du CD53, et à date.

Etat des consommations : Cette partie ne contient que des indicateurs. Certains d'entre eux décrivent si un site a été sélectionné et s'il est raccordé à un réseau électrique et/ou de gaz.

Les autres concernent la consommation d'électricité et de gaz. En effet, on peut avoir la consommation totale ; l'évolution de la consommation totale entre janvier et la date sélectionnée comparée à la même période de l'année précédente ; l'évolution de la consommation d'électricité et de gaz à cette même période.

Evolution des consommations : Cette partie contient des graphiques pour observer l'évolution de la consommation de l'électricité et/ou de gaz par mois ou par année ; il contient aussi l'historique des consommations de gaz sur 24 mois afin de voir les consommations pendant les saisons de chauffe. On y trouve aussi un tableau qui retrace l'évolution de la consommation, par mois, entre l'année de la date sélectionnée et celle précédente. Ce qui offre une panoplie d'options de comparaison aux agents du CD53.

Ce tableau de bord assure le suivi de la consommation des sites du CD53.

3. Bilan

L'alternance effectuée cette année a été fortement enrichissante. La découverte du monde de la gouvernance des données au travers des différents projets m'a confirmé l'importance de ce domaine dans un monde où il y a énormément de données. Les missions proposées ont pu mettre au défi mes capacités de programmation (en Python) mais aussi ma capacité de comprendre des modèles de données complexes. J'ai pu découvrir Opendatasoft, une plateforme qui permet de partager, de traiter et de mettre en musique des données.

En dehors de l'aspect pratique, mes atouts personnels ont fortement évolué au cours de cette année. Notamment j'ai appris à mieux m'organiser, ce qui représentait ma principale faiblesse. J'ai aussi pu travailler sur le travail d'équipe lors des différents projets. L'élaboration de rapports, de mode d'emploi, la documentation et la présentation des travaux effectués ont développé ma communication écrite et orale.

En plus des différentes activités réalisées durant cette alternance, j'ai consacré du temps à étudier un sujet sur la consommation énergétique des collèges CD53. Ce sujet était d'autant plus intéressant du fait que les collèges ne sont pas encore présents sur le tableau de bord mis à disposition de la collectivité. Ce qui pourrait être la prochaine étape sur la mission « Sobriété Energétique ».

Conclusion

En conclusion, dans le cadre du bilan d'activité, nous avons présenté les missions et les tâches réalisées au sein de l'entreprise, mettant en lumière notre contribution à la mission « Bas carbone » et à la mission « Sobriété énergétique » du CD53. Ces expériences ont enrichi notre compréhension des enjeux énergétiques locaux, nous ont permis de développer et de mettre en pratique les compétences techniques et personnelles acquises au cours de notre alternance.

Dans la continuité de la mission « Sobriété Énergétique », nous avons fait une étude sur la consommation énergétique des collèges publics du département de la Mayenne. Nous avons abordé de manière exhaustive les différents aspects liés à ce sujet crucial. Notre analyse a été guidée par les questions suivantes : Quel est le niveau actuel de consommation énergétique des collèges du CD53 ? Comment réduire leur consommation énergétique ? Quelle sera l'impact de ses réductions sur les dépenses énergétiques ?

Nous avons commencé par une exploration approfondie du contexte énergétique actuel, soulignant les défis posés par la crise énergétique et les impératifs environnementaux. Cette phase nous a permis de comprendre l'urgence d'agir pour réduire la consommation énergétique tout en minimisant les émissions de gaz à effet de serre.

Puis nous avons analysé les données de consommation énergétique des collèges sur une période allant de 2018 à 2023. Nos observations ont révélé une forte prévalence de l'électricité et du gaz naturel dans la consommation d'énergie, ainsi qu'une tendance à la baisse de la consommation globale d'énergie, bien que les dépenses associées aient augmenté en raison de la flambée des prix de l'électricité et du gaz. Cependant, nous avons également constaté une baisse significative des émissions de CO₂ au cours de cette période.

Ensuite nous avons appliqué des techniques de modélisation pour proposer des solutions de réduction de la consommation énergétique des collèges. Après avoir entraîné différents modèles sur des données augmentées, nous avons retenu le modèle XGBoost comme le plus performant. En nous appuyant sur ce modèle, nous avons identifié plusieurs recommandations, notamment le changement de fournisseurs d'énergie pour les cuisines fonctionnant au propane, l'interdiction des chaudières au fioul domestique et au propane, la réalisation d'audits énergétiques, la rénovation des collèges, la réduction des espaces chauffés et la promotion de sources d'énergie alternatives telles que le bois déchiqueté, les réseaux de chaleur ou l'électricité.

Nous avons également utilisé le modèle XGBoost pour estimer les dépenses énergétiques associées à ces différentes recommandations. Nos prévisions ont montré que la mise en œuvre des améliorations énergétiques suggérées pourrait permettre d'économiser une quantité significative d'énergie et un montant correct des dépenses liées.

Cependant, bien que nos recommandations puissent contribuer à réduire la consommation énergétique des collèges et à atteindre les objectifs de sobriété énergétique, il est essentiel de tenir compte des facteurs ralentissant leur implémentation tels que les coûts liés à ces travaux, la disponibilité locale des sources d'énergie recommandées, la réticence des occupants à changer leurs habitudes ainsi qu'un personnel qualifié pour assurer les travaux de rénovation à entreprendre.

Pour aller plus loin, il serait intéressant d'explorer d'autres avenues de recherche, telles que l'intégration d'autres énergies renouvelables, l'optimisation des systèmes de gestion de l'énergie ou l'évaluation de l'impact social des mesures d'efficacité énergétique. De plus, une analyse comparative entre différents départements ou régions pourrait fournir des visions supplémentaires sur les meilleures pratiques en matière de gestion énergétique des collèges.

Enfin, il est essentiel d'impliquer les acteurs locaux, tels que les autorités éducatives, les gestionnaires des collèges et les collectivités territoriales, dans la mise en œuvre des recommandations formulées dans cette étude. Une collaboration étroite entre les différentes parties prenantes est nécessaire pour garantir le succès des initiatives visant à améliorer l'efficacité énergétique des collèges et à contribuer à la transition vers une société plus durable.

Références

Adresse aux Français, 12 mars 2020. (2020, mars 12). elysee.fr.
<https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2020/03/12/adresse-aux-francais>

Belyadi, H. (2021). Machine learning guide for oil and gas using Python : A step-by-step breakdown with data, algorithms, codes, and applications. Gulf Professional Publishing, an imprint of Elsevier.

Biernat, E., & Lutz, M. (2015). Data science : Fondamentaux et études de cas : machine learning avec Python et R. Eyrolles.

Borne, E. (2022). Circulaire n° 6363-SG du 25 juillet 2022 relative à la sobriété énergétique et à l'exemplarité des administrations de l'État. Légifrance.
<https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf/circ?id=45355>

Cadre européen énergie-climat. (2021, février 19). Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires.
<https://www.ecologie.gouv.fr/cadre-europeen-energie-climat>

Ce qu'il faut savoir sur le plan «sobriété énergétique». (2022). info.gouv.fr.
<https://www.info.gouv.fr/actualite/ce-qu'il-faut-savoir-sur-le-plan-de-sobriete-energetique>

Chignard, S. (2013). A brief history of Open Data.
<https://www.paristechreview.com/2013/03/29/brief-history-open-data/>

Code de l'environnement. (2024, juin 4). Légifrance.
https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006074220/2024-06-04/

Coefficient de détermination. (2023). In Wikipédia.
https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Coefficient_de_d%C3%A9termination&oldid=756941

Dylan, C. (s. d.). Develop data visualization interfaces in python with dash – real python. Real Python.
<https://realpython.com/python-dash/>

Fioul domestique : Usages autorisés et interdictions. (2017, janvier 19). fioulmarket.fr.
<https://www.fioulmarket.fr/actualites/fioul-domestique-quels-sont-les-usages-autorises-et-les-interdictions>

Guerre, choc pétrolier, inflation : Un air de déjà vu - CJD. (2022). CJD.
<https://www.cjd.net/dirigeant/economie/guerre-choc-petrolier-inflation-un-air-de-deja-vu/>

IFPEN | Tout savoir sur le gaz naturel. (s. d.). IFPEN.
<https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/energies-fossiles/tout-savoir-gaz-naturel>

Mean absolute error. (2024). In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Mean_absolute_error&oldid=1216949643

Ministère de l'Education Nationale. (2024). Collèges de la Mayenne (225300011_men_colleges-de-la-mayenne) [jeu de données].
https://data.lamayenne.fr/explore/dataset/225300011_men_colleges-de-la-mayenne/table/?location=7,47.32826,2.29614&basemap=jawg.streets

Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères. (2023). La conférence de Paris ou COP21. France Diplomatie.
<https://www.diplomatie.gouv.fr/fr/politique-etrangere-de-la-france/climat-et-environnement/la-lutte-contre-les-changements-climatiques/la-conference-de-paris-ou-cop21/>

Notre histoire. (s. d.). Agence de la transition écologique. <https://www.ademe.fr/lagence/notre-histoire/>

Orenstein, P. (2021). Robust importance sampling with adaptive winsorization (arXiv:1810.11130). arXiv.
<http://arxiv.org/abs/1810.11130>

Plaquettes forestières. (s. d.). Bois de France.
<https://preferezlesboisdefrance.fr/produit-service/plaquette-forestiere/>

Predictive modeling. (s. d.). Qlik.
<https://www.qlik.com/us/predictive-analytics/predictive-modeling>

Qu'est-ce que le gaz propane ? Définition, usages, stockage. (s. d.). Primagaz.
<https://www.primagaz.fr/guide-choisir-energie/gaz-propane-gpl/definition-gaz-propane>

Rauline, N. (2011, mai 27). Les Etats-Unis, précurseurs de l'open data. Les Echos.
<https://www.lesechos.fr/2011/05/les-etats-unis-precurseurs-de-lopen-data-394070>

Root mean square deviation. (2024). In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Root_mean_square_deviation&oldid=1222075287

Root mean square deviation. (2024). In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Root_mean_square_deviation&oldid=1222075287

Saux, L. (2022, avril 25). ODS Academy : Free courses and best practice to enhance your data use. Opendatasoft.
<https://www.opendatasoft.com/en/blog/ods-academy-courses-best-practice-enhance-data-use/>

Section 4 : Bilan des émissions de gaz à effet de serre et plan climat-air-énergie territorial (Articles L229-25 à L229-26) —Légifrance. (s. d.).

https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000022476850?init=true&page=1&query=L.+229-25&searchField=ALL&tab_selection=all&anchor=LEGIARTI000048246757#LEGIARTI000048246757

Sylvestre Huet. (2022, décembre 9). Londres, décembre 1952, smog mortel. {Sciences²}. <https://www.lemonde.fr/blog/huet/2022/12/09/londres-decembre-1952-smog-mortel/>

Tout savoir sur les réseaux de chaleur. (s. d.). France Chaleur Urbaine. <https://france-chaleur-urbaine.beta.gouv.fr/reseaux-chaleur#contenu>

Transition énergétique. (s. d.). La Mayenne. <https://www.lamayenne.fr/page/transition-energetique>

Troisième choc pétrolier. (2023). In Wikipédia. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Troisi%C3%A8me_choc_p%C3%A9trolier&oldid=204130006

Versavaud, C. (2021, mai 4). Qu'est-ce que les DJU ? - Enoptea - Performance énergétique. Enoptea. <https://www.enoptea.fr/articles/quest-ce-que-les-dju/>

Vince, C. (2022, décembre 1). Choc pétrolier : 1973 et 1979, résumé, causes, conséquences. Linternaute. <https://www.linternaute.fr/actualite/guide-histoire/2558638-chocs-petroliers-des-annees-1970-causes-consequences/>

Annexe n°1 : Coefficient de détermination

Référence dans le texte : Voir section "[Modélisation](#)" (page 44) ou suivre ce [lien](#)

Définition : Le coefficient de détermination, souvent noté R^2 , est une mesure statistique qui indique dans quelle mesure les variations de la variable dépendante sont expliquées par les variations de la variable indépendante dans un modèle de régression. En d'autres termes, il mesure la proportion de la variance de la variable dépendante qui est prédictible à partir des variables indépendantes.

Comment il est calculé : Le coefficient de détermination est calculé en divisant la somme des carrés expliqués (SCE) par la somme des carrés totale (SCT). Mathématiquement, cela se formule

comme

:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

, où y_i représente la valeur réelle, \hat{y}_i représente la valeur prédite et \bar{y} représente la moyenne des valeurs réelles.

À quoi cela sert : Le coefficient de détermination permet d'évaluer la qualité de l'ajustement d'un modèle de régression aux données observées. Il indique dans quelle mesure les variables indépendantes du modèle expliquent la variation de la variable dépendante. Un R^2 proche de 1 indique un ajustement parfait du modèle aux données, tandis qu'un R^2 proche de 0 indique que le modèle n'explique pas efficacement la variation de la variable dépendante.

Annexe n°2 : Erreur absolue moyenne

Référence dans le texte : Voir section "[Modélisation](#)" (page 44) ou suivre ce [lien](#)

Définition : L'erreur absolue moyenne (MAE- Mean Absolute Error) est une mesure de la précision d'un modèle de régression qui calcule la moyenne des valeurs absolues des différences entre les valeurs prédites par le modèle et les valeurs réelles observées.

Comment il est calculé : Le MAE est calculé en prenant la moyenne des valeurs absolues des résidus (différences entre les valeurs prédites et les valeurs réelles) pour toutes les observations du jeu de données. Mathématiquement, cela se formule comme :

$$MAE = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

, où n est le nombre d'observations (ou de lignes), y_i est la valeur réelle observé et \hat{y}_i est la valeur prédite.

À quoi cela sert : Le MAE permet d'évaluer la précision d'un modèle en mesurant la moyenne des erreurs absolues. Il donne une indication de la magnitude des erreurs de prédiction sans prendre en compte leur direction. Des valeurs plus faibles de MAE indiquent une meilleure performance du modèle en termes de prédiction des valeurs réelles.

Annexe n°3 : Racine de l'erreur quadratique moyenne

Référence dans le texte : Voir section "[Modélisation](#)" (page 44) ou suivre ce [lien](#)

Définition : La racine de l'erreur quadratique moyenne (RMSE - Root Mean Squared Error) est une mesure de la précision d'un modèle de régression qui représente la racine carrée de la moyenne des carrés des différences entre les valeurs prédites par le modèle et les valeurs réelles observées.

Comment il est calculé : La RMSE est calculé en prenant la racine carrée du MSE. Cela permet d'exprimer l'erreur dans les mêmes unités que la variable dépendante, facilitant ainsi l'interprétation. Sa formule mathématique est :

$$RMSE = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right]}$$

, où n est le nombre d'observations (ou de lignes), y_i est la valeur réelle observé et \hat{y}_i est la valeur prédite.

À quoi cela sert : La RMSE fournit une mesure de la précision du modèle de régression en termes d'écart moyen entre les valeurs prédites et les valeurs réelles. Un RMSE plus faible indique une meilleure adéquation du modèle aux données observées.

Résumé

Ce rapport d’alternance a pour but de permettre une mise en lumière du travail effectué au bout d’une année d’alternance au sein du Conseil Départemental de la Mayenne. Nous avons consacré la première partie à l’étude de la consommation énergétique des collèges publics du département.

En effet, Depuis le 19e siècle, l’industrialisation a entraîné une utilisation intensive du charbon, provoquant des catastrophes environnementales comme le « smog »²¹ de Londres, responsable de la mort de plusieurs milliers de personnes en 1952. Cela a suscité une prise de conscience de la population quant à la dégradation de l’environnement. Ainsi, au lendemain du choc pétrolier de 1973, le gouvernement français engage une politique de rationalisation de la consommation d’énergie, conduisant à la création de l’ADEME²² en 1990. Son objectif est d’accélérer la baisse de la consommation d’énergie, de développer les énergies renouvelables et de réduire les émissions de GES.

Cette prise de conscience environnementale a placé la sobriété énergétique au cœur des priorités du gouvernement français. Ainsi le CD53 a pour ambition de devenir le premier département de France neutre en carbone.

Les bâtiments, étant les plus grands consommateurs d’énergie, représentent un défi majeur dans la réalisation des objectifs du CD53 en termes de transition écologique. C’est dans ce sens que notre étude est une étape importante pour la concrétisation de cette ambition.

Nous avons observé une baisse de la consommation d’énergie des collèges du CD53 de 2018 à 2023, due à une nouvelle politique publique. Cependant, les dépenses énergétiques ont augmenté en raison de la flambée des prix de l’énergie.

Grâce à une modélisation rigoureuse, nous avons identifié des leviers d’action pour réduire la consommation et les dépenses énergétiques, bien que certains obstacles puissent retarder leur mise en œuvre.

La deuxième partie du rapport présente le CD53, détaille les activités menées au cours de cette alternance et les compétences acquises, offrant ainsi une vision complète du travail accompli et des perspectives pour l’optimisation énergétique des collèges.

²¹ [smog de Londres](#)

²² [Histoire de l’ADEME](#)

Abstract

This report aims to highlight the work done after a year of working as an apprentice at the Departmental Council of Mayenne. The first part of this report is devoted to the study of the energy consumption of the public middle schools in the department.

Indeed, since the 19th century, industrialization has led to the intensive use of coal, causing environmental disasters such as the London "smog," which was responsible for the deaths of several thousand people in 1952. This prompted public awareness of environmental degradation. Thus, following the 1973 oil crisis, the French government implemented a policy of energy consumption rationalization, leading to the creation of ADEME in 1990. Its objective is to accelerate the reduction of energy consumption, develop renewable energies, and reduce greenhouse gas emissions.

This awareness led to making energy sobriety a central issue for the French government. Thus, the Departmental Council aims to become the first carbon-neutral department in France.

Since buildings are the largest energy consumers, they represent a major challenge in achieving the Council's ecological transition objectives. It is in this context that our study is of an important step toward the realization of this ambition.

We observed a decrease in the energy consumption of the Council's middle schools from 2018 to 2023 thanks to a new public policy. However, energy expenses did not follow the same trend due to the surge in energy prices.

Through rigorous modeling, we've been able to identify solutions to reduce consumption and energy-related expenses. But real obstacles could delay their implementation.

The second part of the report presents the Departmental Council of Mayenne, details the activities carried out during this internship, and the skills acquired, thus offering a comprehensive view of the work accomplished and perspectives for optimizing the energy consumption of public middle schools in the department.