

École polytechnique de Louvain

Développement d'un calculateur d'empreinte carbone pour les élèves du secondaire

Auteur : **Martin DAUE**

Promoteurs : **Hervé JEANMART, Xavier MARICHAL**

Lecteurs : **Nicolas GHUYS, Patricia LUIS ALCONERO**

Année académique 2023–2024

Master [120] : ingénieur civil électromécanicien

Remerciements

Je tiens tout d’abord à remercier le Professeur Hervé Jeanmart qui a accepté de superviser ce mémoire, a pris de son temps pour suivre son avancement et a accordé sa pleine confiance au Professeur Xavier Marichal pour la supervision étroite de celui-ci au quotidien.

Effectivement, la réalisation de ce mémoire n’aurait pas été possible sans l’engagement et l’implication du Professeur Marichal. Ce projet découle de ses travaux personnels et je le remercie de l’avoir intégré à un sujet de mémoire. Je le remercie également pour son soutien, son temps, son oeil d’expert, ses relectures, tous ses conseils avisés ainsi que pour son humanité et son exemplarité.

Naturellement, je voudrais exprimer ma profonde gratitude aux cinq professeurs du secondaire qui m’ont accompagné tout le long du processus de création du calculateur. Ils ont permis son amélioration continue et la réalisation de tests en conditions réelles, ce qui a apporté beaucoup à ce mémoire.

Je suis aussi très reconnaissant de l’excellent travail de Louis Van Den Abbeele, ayant réalisé un mémoire assez similaire en développant un calculateur pour étudiants du supérieur.

J’aimerais remercier ensuite mes amis de toujours Louis Dubucq, Igor Vraux et Thomas Mortiaux, pour leurs relectures et leur implication dans la mise en page du mémoire. Leur soutien indéfectible a été un pilier essentiel à ma réussite au cours de ces cinq années d’études.

Sincères remerciements également à ma compagne pour son soutien quotidien et ses relectures rigoureuses, ainsi qu’à tous ceux qui ont contribué à mon bonheur et m’ont permis d’avancer de manière assidue au cours de ce quadrimestre intense de travail.

Finalement, je tiens à vous remercier vous, chers lecteurs et chères lectrices, de prendre de votre temps pour lire ce mémoire et spécialement Patricia Luis Alconero et Nicolas Ghuy, qui ont accepté de faire partie du jury de ce mémoire.

Résumé

Le réchauffement global pose un défi majeur à l'humanité, nécessitant une sensibilisation accrue, notamment auprès des élèves du secondaire de la Fédération Wallonie-Bruxelles. Dans le cadre des initiatives climatiques et éducatives wallonnes et belges, le projet de création d'un calculateur d'empreinte carbone spécifiquement destiné aux élèves du secondaire contribue à cette sensibilisation, s'inscrivant ainsi dans la continuité des calculateurs de l'Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC), visant un public précis.

Cet outil novateur prend la forme d'un questionnaire exhaustif, couvrant divers aspects de la vie quotidienne des élèves et garantissant pertinence et accessibilité. Basée sur la méthode *Bilan Carbone* et adaptée à un contexte précis, la création du questionnaire implique des choix méthodologiques réfléchis, visant à sensibiliser les élèves à leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) et à encourager des changements de comportement. Ces choix ont été posés et discutés avec des professeurs du secondaire tout au long du processus de création, bénéficiant ainsi de leur riche expérience avec les élèves. De plus, l'outil a pour vocation d'être utilisé en classe et intégré dans le parcours scolaire des élèves.

Les tests réalisés dans trois classes de cinquième et sixième année ont démontré un premier succès du calculateur en atteignant son objectif principal de sensibilisation. Plus de 85% des élèves ont une compréhension accrue de leurs émissions de GES, soulignant la pertinence des résultats. Par ailleurs, une comparaison des ordres de grandeur des résultats avec les émissions moyennes belges permet de juger de la cohérence quantitative de ceux-ci. Ces tests ont également mis en lumière des perspectives d'amélioration de l'outil que l'AWAC doit examiner pour optimiser le calculateur. Cette initiative prometteuse trace donc la voie à une intégration plus large de l'outil dans le système éducatif, à condition d'apporter des améliorations basées sur les enseignements tirés de ces premiers tests et d'en outre, réaliser de nombreux autres tests à plus grande échelle.

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	iii
Nomenclature	vii
Liste des figures	ix
Liste des tableaux	xiii
1 Introduction	1
2 Pourquoi créer un calculateur d’empreinte carbone pour élèves du secondaire ?	3
2.1 Fondements du changement climatique	3
2.1.1 Contexte général	3
2.1.2 Accords internationaux	6
2.1.3 Le combat climatique belge	7
2.1.4 Difficultés à respecter les objectifs climatiques	8
2.2 Éduquer et sensibiliser le grand public	11
2.2.1 L’éducation et la sensibilisation en Wallonie	11
2.2.2 Importance d’éduquer et sensibiliser la jeunesse en Fédération Wallonie- Bruxelles	12
2.3 Synthèse du chapitre	17
3 Création du calculateur d’empreinte carbone	19
3.1 Empreinte Carbone	19
3.1.1 Définition	19
3.1.2 Méthodes	19
3.1.3 Méthode <i>Bilan Carbone</i>	20
3.2 Calculateurs existants	24
3.3 Cadre du projet	26

3.3.1	Objectifs	26
3.3.2	Contexte	26
3.3.3	Contraintes	27
3.4	Application de la méthode <i>Bilan Carbone</i> dans le processus de création du calcu- lateur	31
3.4.1	Cadrage et identification des sources et émissions	31
3.4.2	Calcul du bilan	34
3.5	Questions et conversions	37
3.5.1	Questions générales	37
3.5.2	École	37
3.5.3	Infrastructure	38
3.5.4	Énergie	39
3.5.5	Déplacements	42
3.5.6	Alimentation	43
3.5.7	Équipement	44
3.5.8	Déchets	44
3.6	Synthèse du chapitre	46
4	Tests, résultats et discussions	47
4.1	Analyse quantitative des résultats du calculateur : Profil-type d'un élève	47
4.1.1	Profil-type imaginé	47
4.1.2	Résultats	48
4.1.3	Mise en perspective quantitative des résultats par rapport aux moyennes belges	50
4.2	Méthodologie des tests	51
4.2.1	Préparation aux tests et intégration du calculateur dans un cours	51
4.2.2	Classes participantes	52
4.2.3	Déroulement des tests	53
4.2.4	Collecte des résultats des tests	54
4.3	Résultats des Tests	54
4.3.1	Temps de complétion	54
4.3.2	Accessibilité du vocabulaire	56
4.3.3	Accessibilité des données	57
4.3.4	Idée des ordres de grandeur des émissions de GES	59
4.3.5	Idée des actions potentielles pour diminuer l'empreinte carbone et des ordres de grandeur de ces réductions d'émissions	60

4.3.6	Changements de comportements après utilisation du calculateur	62
4.3.7	Influence de ce genre d'outil sur le choix d'études ou de métier	63
4.3.8	Autres réponses, commentaires et suggestions des élèves et des professeurs	64
4.3.9	Synthèse, analyse et regard critique des résultats	66
4.4	Perspectives d'amélioration du calculateur et de son intégration	67
5	Conclusion	71
	Annexes	73
A	Description détaillée du questionnaire	74
A.1	Questions et conversions	74
A.1.1	Approche et légende	74
A.1.2	Mon empreinte carbone	75
A.1.3	École	76
A.1.4	Déplacements pour l'école	89
A.1.5	Consommation à l'école	95
A.1.6	Domicile	100
A.1.7	Mes activités personnelles	115
B	Guide explicatif du calculateur destiné aux professeurs	124
B.1	Contexte et objectifs	124
B.2	Utilisation du calculateur	126
B.3	Exemple d'explications préalables à l'utilisation du calculateur par les élèves .	127
B.4	Texte proposé au début du questionnaire pour l'élève	128
B.5	Données à recueillir pour le module <i>École</i>	129
C	Perspectives d'amélioration précises et techniques du calculateur	131
	Bibliographie	133

Nomenclature

Liste des abréviations

ACV	Analyse du cycle de vie
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AWAC	Agence wallonne de l'air et du climat
CCNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
COP	Conférence des Parties
FE	facteur d'émission
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
NDC	Contribution Nationale Déterminée
OCE	Office for Climate Education
PACE	Plan Air Climat Energie
PNEC	Plan national énergie-climat
PRG	Pouvoir de réchauffement global
RGPD	Règlement général sur la protection des données
UE	Union Européenne

Liste des figures

Chapitre 2 : Pourquoi créer un calculateur d’empreinte carbone pour élèves du secondaire ?

2.1	Augmentation de la température moyenne globale mondiale par rapport à la moyenne des températures du 20 ^e siècle [2].	4
2.2	Répartition des émissions mondiales de GES par gaz en 2010 [4].	5
2.3	Répartition des émissions belges de GES par secteur en 2021 [14].	7
2.4	Score d’action politique par rapport aux objectifs nationaux de réduction d’émissions de GES non-ETS[15].	9

Chapitre 3 : Création du calculateur d’empreinte carbone

3.1	Première partie des catégories d’émissions de GES selon la méthode <i>Bilan Carbone</i> [32].	21
3.2	Deuxième partie des catégories d’émissions de GES selon la méthode <i>Bilan Carbone</i> [32].	22
3.3	Organisation de l’affichage du questionnaire.	28
3.4	Affichage des résultats du questionnaire.	28
3.5	Répartition des modules et des sous-modules.	32
3.6	Première partie du périmètre opérationnel et de déclaration selon les 22 postes de la méthode <i>Bilan Carbone</i>	34
3.7	Deuxième partie du périmètre opérationnel et de déclaration selon les 22 postes de la méthode <i>Bilan Carbone</i>	35

Chapitre 4 : Tests, résultats et discussions

4.1	Réponses aux questions sur les vacances de l’élève fictif.	48
4.2	Réponses aux questions sur l’alimentation à la maison de l’élève fictif.	48
4.3	Résultats de l’empreinte carbone de l’élève-type.	49
4.4	Compréhension du vocabulaire.	57
4.5	Accessibilité des données demandées.	58
4.6	Meilleure idée des quantités de CO ₂ -eq émises ?	60
4.7	Idée d’aspects de la vie sur lesquels agir.	61

4.8	Idée des ordres de grandeur de diminution d'émissions en cas de changements de comportement.	61
4.9	Influence de ce genre d'outil sur les études ou le métier.	63

Annexe A : Description détaillée du questionnaire

A.1	Questions générales.	75
A.2	Questions générales de l'école.	77
A.3	Questions du sous-module Infrastructure.	78
A.4	Questions du sous-module Énergie.	80
A.5	Conditions climatisation et panneaux solaires.	81
A.6	Questions du sous-module Déplacements employés domicile-travail.	83
A.7	Répartition du parc automobile belge par motorisation.	84
A.8	Questions du sous-module Achats.	86
A.9	Questions du sous-module Achats.	87
A.10	Questions du sous-module Déchets.	88
A.11	Conditions Déchets à l'école.	88
A.12	Questions du sous-module Trajets domicile-école.	90
A.13	Conditions Trajets domicile-école.	90
A.14	Questions du sous-module Voyages scolaires.	93
A.15	Conditions Voyages scolaires.	93
A.16	Questions du sous-module Sorties scolaires.	95
A.17	Questions du sous-module Alimentation à l'école.	96
A.18	Questions du sous-module Matériel scolaire.	99
A.19	Questions du sous-module Questions générales domicile.	100
A.20	Questions du sous-module Construction.	101
A.21	Conditions Construction.	101
A.22	Questions du sous-module Chauffage et climatisation.	103
A.23	Conditions Chauffage et climatisation.	103
A.24	Questions du sous-module Électricité et eau chaude.	105
A.25	Questions du sous-module Alimentation.	108
A.26	Questions du sous-module Alimentation.	109
A.27	Questions du sous-module Équipement.	112
A.28	Questions du sous-module Équipement.	113
A.29	Questions du sous-module Déchets.	115
A.30	Conditions Déchets.	115
A.31	Questions du sous-module Déplacements personnels.	117

A.32 Conditions Déplacements personnels.	117
A.33 Questions du sous-module Déplacements vacances.	119
A.34 Conditions Déplacements vacances.	119
A.35 Questions du sous-module Technologie et numérique.	121
A.36 Questions du sous-module Textiles.	123
A.37 Questions du sous-module Hygiène.	123
 Annexe B : Guide explicatif du calculateur destiné aux professeurs	
B.1 Données à recueillir pour le module <i>École</i>	130

Liste des tableaux

Chapitre 3 : Création du calculateur d'empreinte carbone

3.1	Surface estimée du logement selon le type de logement et le choix de taille subjective de l'élève.	39
3.2	Rendements des chaudières. (1) Les rendements des chaudières à bois dépendent de nombreux paramètres, un rendement de 80% est une valeur acceptable. . . .	41
3.3	Hypothèses de densités et volumes par type de déchets. (1) vient de [61]. (2) vient de [60]. (3) vient de [62].	46

Chapitre 4 : Tests, résultats et discussions

4.1	Comparatif d'émissions par poste entre le belge moyen et l'élève fictif.	50
4.2	Temps de complétion médian et moyen par module des quarante-huit élèves de l'école de Thuin.	55
4.3	Temps de complétion de l'ensemble de la classe du Collège Saint-Etienne. . . .	56

Annexe A : Description détaillée du questionnaire

A.1	Description des variables générales de l'utilisateur.	76
A.2	Description des variables générales de l'école.	77
A.3	Description des variables des infrastructures de l'école.	78
A.4	Description des variables d'énergie.	81
A.5	Description des variables de déplacements des employés.	84
A.6	Description des variables Achats.	85
A.7	Description des variables Déchets.	89
A.8	Choix du FE pour les déchets organiques.	89
A.9	Description des variables Déplacements domicile-école.	91
A.10	Description des variables Voyages scolaires.	94
A.11	Hypothèses de vitesse moyenne selon le mode de transport. (1) vitesses moyennes basées sur les sources suivantes [78-81].	94
A.12	Description des variables Sorties scolaires.	95
A.13	Description des variables Alimentation à l'école.	97
A.14	FE par type de repas.	98

A.15 Description des variables Matériel scolaire.	99
A.16 Description de la variable Questions générales.	100
A.17 Description des variables Construction.	101
A.18 Surface estimée du logement selon le type de logement et la taille subjective. . .	102
A.19 Description des variables Chauffage et climatisation.	104
A.20 Description des variables Électricité et eau chaude.	105
A.21 Volume d'eau par type de douche/bain.	107
A.22 Rendements des chaudières. (1) Les rendements des chaudières à bois dépendent de nombreux paramètres, un rendement de 80% est une valeur acceptable. . . .	107
A.23 Description des variables Alimentation.	110
A.24 FE pour les déjeuners.	111
A.25 FE pour les boissons. (1) 33cl, 6g de thé par tasse, FE thé aromatisé sucré. (2) 33cl, FE café expresso non sucré prêt à boire. (3) 30cl de lait demi-écrémé et 20.25g de poudre cacaotée. (4) 20cl, FE coca. (5) 20cl, lait demi-écrémé. (6) 20cl, médiane de pleins de jus communs.	111
A.26 Coefficient pour le gaspillage.	112
A.27 Description des variables Équipement du domicile.	114
A.28 Description des variables Déchets.	116
A.29 Hypothèses de densités et volumes par type de déchets. (1) vient de [61]. (2) vient de [60]. (3) vient de [62].	116
A.30 Description des variables Déplacements personnels.	118
A.31 Description des variables Déplacements vacances.	120
A.32 Description des variables Technologies et numérique.	122
A.33 FE du digital.	122
A.34 Description des variables Textiles.	122
A.35 Description de la variable Hygiène.	123

Introduction

Dans la foulée du réchauffement global de la planète, le changement climatique est un des plus grands défis que l'humanité ait connu dans son histoire et constitue le plus grand défi du 21^e siècle. La température de la surface globale de la Terre a déjà augmenté de 1.1°C depuis l'époque pré-industrielle. Les conséquences de cette hausse de température sont nombreuses, allant des vagues de chaleur et de froid à l'augmentation des niveaux de la mer en passant par des catastrophes naturelles. Ces conséquences seront de plus en plus nombreuses et extrêmes avec l'augmentation de ce réchauffement global. La cause principale de ce réchauffement est l'émission massive de gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique. Une réduction à l'échelle mondiale des émissions de GES est nécessaire pour atténuer au maximum le réchauffement global et ses conséquences.

En réponse à ce défi gigantesque, 196 parties, dont la Belgique, ont ratifié l'Accord de Paris. Celui-ci vise à maintenir l'augmentation de la température moyenne mondiale "bien en dessous" de 2°C au-dessus des niveaux de températures de 1850-1900 et mentionne que les efforts devront être poursuivis pour essayer de contenir l'élévation à 1.5°C. Toutes les parties signataires ont donc soumis leur plan d'action climat. Le *Plan national énergie-climat* (PNEC) de la Belgique établit les principaux contours de la transition vers un système énergétique décarboné, entre autres. Il est réalisé conjointement par les différents niveaux de pouvoirs belges.

L'objectif de la Wallonie concernant la décarbonation est une réduction contraignante de 37% de ses émissions de GES en 2030 par rapport à 2005. Cet objectif n'est pour l'instant pas en bonne voie. Les pouvoirs publics, les industries et les particuliers doivent donc s'allier et agir pour espérer atteindre cet objectif. La sensibilisation des particuliers et notamment des jeunes est un enjeu crucial du plan climat wallon. Les changements de comportement ne peuvent avoir lieu chez les particuliers que s'il y a une prise de conscience de la problématique. Cette prise de conscience peut être provoquée par la sensibilisation.

Pour sensibiliser les particuliers, de nombreux calculateurs d'empreinte carbone existent sur internet mais ne visent souvent que les particuliers dans la vie active. L'Agence wallonne de l'Air et du Climat (AWAC) a donc décidé de créer, en collaboration avec Factor-X (une société de conseil active dans la comptabilisation de GES), des calculateurs d'empreinte carbone

adaptés à un public précis. L'an passé, un calculateur pour étudiant du supérieur a été réalisé. Le développement d'un calculateur pour élèves du secondaire s'inscrit donc dans cette continuité. Ce serait le premier calculateur d'empreinte carbone pour élèves francophones, d'où l'importance d'un projet comme celui-ci. Les élèves sont à un stade crucial de leur développement personnel, une sensibilisation aux problèmes climatiques dès cet âge-là est donc nécessaire.

Ce calculateur prend la forme d'un questionnaire reprenant une grande partie des aspects de la vie des élèves : leur vie à l'école, leurs déplacements, leur domicile ou encore leur consommation. Pour créer ce calculateur et pouvoir l'intégrer dans un cadre scolaire, de nombreux choix et hypothèses ont été posés, se basant en outre sur une méthode référence de calcul d'empreinte carbone : la méthode *Bilan Carbone*.

Le présent manuscrit commence par développer pourquoi il est utile de créer un calculateur pour élèves du secondaire en rappelant les fondements du changement climatique et en insistant sur l'importance d'éduquer et sensibiliser la jeunesse, notamment. Ensuite, tout le travail de création du calculateur est expliqué en allant de la définition d'une empreinte carbone et de la théorie de la méthode *Bilan Carbone* au développement de tous les choix et hypothèses en passant par une définition du cadre du projet et l'application de cette méthode à ce projet. Par la suite, une analyse quantitative de l'empreinte carbone d'un élève-type est exposée. Finalement, le déroulement et les résultats de tests du calculateur réalisés dans deux écoles différentes sont décrits afin de rendre compte d'un premier niveau de rencontre des objectifs du calculateur suivis par des perspectives d'amélioration de celui-ci.

Pourquoi créer un calculateur d'empreinte carbone pour élèves du secondaire ?

Ce chapitre vise à démontrer l'importance de développer un calculateur d'empreinte carbone destiné aux élèves de secondaire de la Fédération Wallonie-Bruxelles. Pour ce faire, les fondements du changement climatique sont d'abord présentés, en commençant par un contexte général. Puis, les principaux accords internationaux sont évoqués pour situer le contexte international, suivi d'une analyse de la vision belge en matière de climat. Ensuite, le chapitre met en lumière l'importance de l'éducation et de la sensibilisation aux enjeux climatiques. Tout d'abord, dans un contexte wallon global, puis en se concentrant sur l'éducation et la sensibilisation des jeunes âgés de 15 à 18 ans en Fédération Wallonie-Bruxelles. Certains points seront examinés comme les raisons de cibler cette tranche d'âge, leur sensibilité à la question du changement climatique, le rôle essentiel de l'éducation climatique au sein de l'école secondaire, et enfin, la pertinence et la nécessité de créer un calculateur d'empreinte carbone spécifiquement adapté à cette population.

2.1 Fondements du changement climatique

2.1.1 Contexte général

Selon le dernier rapport du GIEC [1], la température moyenne de la surface globale de la Terre a augmenté de 1.1°C entre la période 2011-2020 par rapport à la période de référence de 1850-1900. La suite de cette section est une synthèse très courte de ce rapport. Ce changement de température de la surface terrestre est l'indicateur le plus évident du réchauffement global provoquant un dérèglement climatique et est illustrée à la Figure 2.1 montrant l'évolution de l'écart de température annuelle mondiale par rapport à la moyenne des températures du 20^e siècle [2].

La cause de ce réchauffement global est unique et n'est plus discutable : ce sont les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique¹. L'effet de serre est un phénomène

1. C'est-à-dire d'origine humaine et non naturelle.

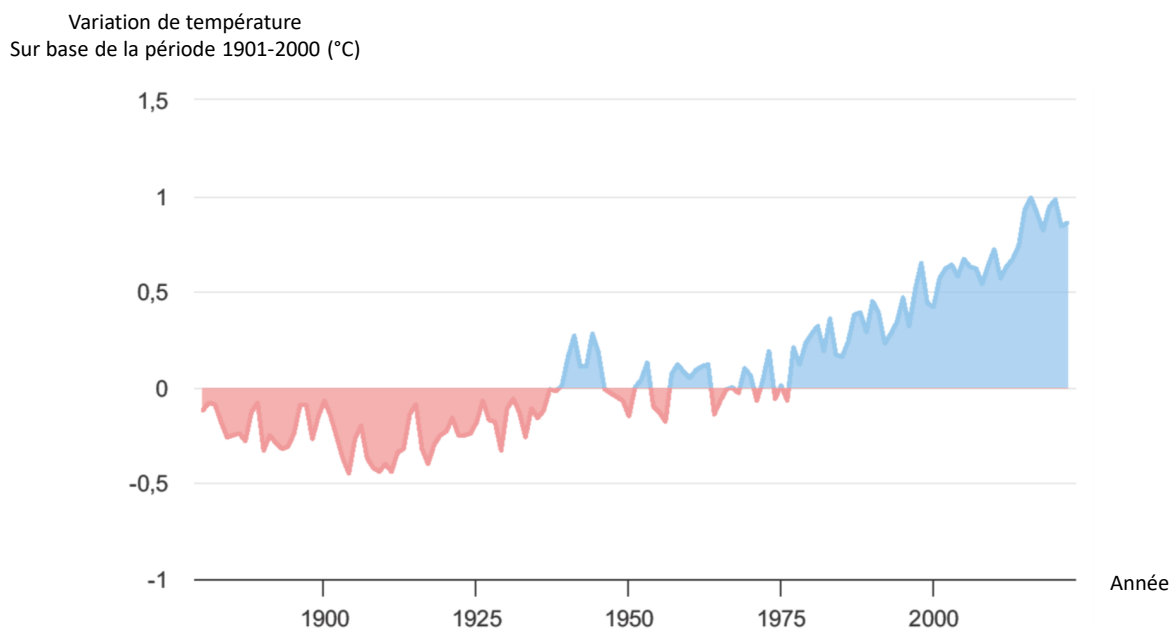


Figure 2.1 – Augmentation de la température moyenne globale mondiale par rapport à la moyenne des températures du 20^e siècle [2].

naturel nécessaire à la vie sur Terre [3]. Ce phénomène décrit les échanges d'énergie entre le soleil et la Terre : le soleil émet un rayonnement infrarouge capté par l'atmosphère, et plus précisément, par les GES présents dans l'atmosphère. Les rayons infrarouges captés par l'atmosphère peuvent être assimilés à une réserve de chaleur nécessaire à la vie sur Terre. Si l'effet de serre n'existait pas, la température de la Terre serait d'environ -18°C . Cependant, une trop forte concentration de GES dans l'atmosphère provoquée par l'Homme, dominés par le dioxyde de carbone (CO_2) et le méthane (CH_4), contribue à y piéger un surplus de chaleur et à réchauffer la planète. La distribution mondiale des GES d'origine anthropique dans l'atmosphère sont montrés à la Figure 2.2 [4]. Ils ont tous un pouvoir de réchauffement global (PRG) différent et une durée de vie dans l'atmosphère différente. C'est pourquoi la répartition est différente selon le temps de référence pris en considération. Ce sont effectivement les activités humaines qui sont responsables de l'émission massive de ces GES d'origine non naturelle et donc sont la cause du réchauffement global et du changement climatique. Parmi les activités humaines les plus émettrices de GES depuis 1850, on peut compter l'utilisation de combustibles fossiles, l'industrie, l'agriculture, l'élevage, la déforestation ou encore l'utilisation des sols.

Les conséquences du dérèglement climatique sont multiples. Des impacts, tant sur les systèmes humains que sur les écosystèmes, ont déjà pu être observés à l'échelle mondiale. On peut citer comme exemples :

1. systèmes humains

Selon le potentiel de réchauffement global
à 20 ans

Selon le potentiel de réchauffement global
à 100 ans

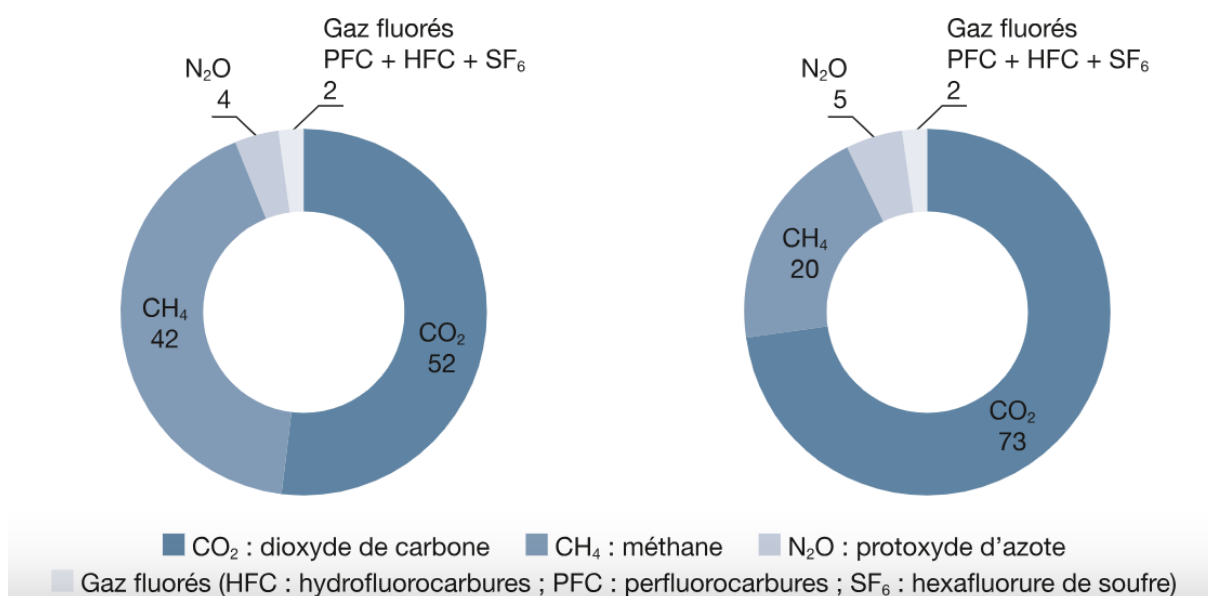


Figure 2.2 – Répartition des émissions mondiales de GES par gaz en 2010 [4].

- les vagues de chaleur et de froid
- les extrema de températures croissants
- la diminution des disponibilités physiques de l'eau et de la production de nourriture
- la réduction de la santé et du bien-être liée à divers facteurs tels que la chaleur, les incendies de forêt, les maladies infectieuses ou la santé mentale
- l'augmentation du niveau de la mer
- l'augmentation du nombre de tempêtes et des inondations
- la croissance des dommages aux infrastructures et aux secteurs économiques

2. écosystèmes

- des changements dans la structure des écosystèmes
- des déplacements de l'aire de répartition des espèces
- des modifications des phénomènes périodiques de la vie animale et végétale en fonction du climat, également connus sous le nom de phénologie

Selon les prévisions du GIEC, la fréquence et l'intensité de ces impacts ne feront qu'augmenter avec la hausse des températures de la surface de la Terre.

C'est pourquoi il est nécessaire de réduire les émissions de GES. De fait, le réchauffement de 1,5°C et 2°C de la surface terrestre sera dépassé au cours du 21^e siècle, à moins que des réductions significatives des émissions de CO₂ et d'autres GES n'aient lieu au cours des prochaines

décennies [5]. Dans les pires scénarios, un réchauffement de 4°C pourrait même se produire à l'horizon 2100. Pour réduire et atténuer le réchauffement global et toutes les conséquences qui en découlent, il est impératif d'adopter des mesures de réduction drastiques et continues des émissions de GES jusqu'à parvenir, dans l'idéal, à un équilibre carboneutral.

2.1.2 Accords internationaux

En réponse à ce défi gigantesque, plusieurs accords internationaux concernant le climat ont vu le jour. La Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC [6]), créée en 1994, a d'abord mis en place le protocole de Kyoto, entré en vigueur en 2005. Ce protocole visait à ralentir le changement climatique en prenant des mesures de protection climatique et indiquait comment les émissions de GES devaient être réduites. Cependant, ce protocole, ratifié par 192 pays, a fait l'objet de critiques quant à sa conception et à son efficacité et finalement, les données empiriques concernant son impact ont généré des preuves controversées. Une analyse de l'université d'Hambourg sur l'efficacité du protocole de Kyoto, datant de 2019, montre qu'il a permis d'éviter une aggravation des émissions de GES mais que d'autres mesures sont nécessaires outre celles de celui-ci [7].

C'est pourquoi, en 2015, lors de la 21^e conférence des parties de la CCNUCC, aussi appelée COP21, un nouvel accord international a été signé par 196 parties composées de 195 pays et de l'Union Européenne : l'Accord de Paris [8]. Celui-ci, entré en vigueur en 2016, est un traité international qui impose des obligations légales, mais non contraignantes, à tous ses signataires en matière de changements climatiques. Il vise à maintenir l'augmentation de la température moyenne mondiale "bien en dessous" de 2°C au-dessus des niveaux de températures de 1850-1900 et mentionne que les efforts devront être poursuivis pour essayer de maintenir l'élévation à 1.5°C [9]. La mise en oeuvre de l'Accord de Paris fonctionne sur un cycle de 5 ans d'actions climatiques qui se veulent de plus en plus ambitieuses. Tous les 5 ans, chaque partie doit soumettre son plan d'action climatique, appelé contribution nationale déterminée (NDC). En parallèle de l'accord de Paris, l'Union Européenne a exigé à ses états membres de préparer et soumettre une stratégie climatique à long terme à la Commission Européenne avant le 1^{er} janvier 2020 [10, 11]. La Belgique, étant un état membre de l'Union Européenne, a soumis le 18 décembre 2019 à la Commission Européenne son "Plan national énergie-climat 2021-2030", aussi appelé PNEC [12]. C'est cependant l'Union Européenne elle-même qui a soumis au CCNUCC, en accord avec l'Accord de Paris, un NDC commun pour tous ses états membres sur base des stratégies à long terme de ses états membres. C'est donc le PNEC qui fait office de référence en matière de stratégie climatique pour la Belgique.

2.1.3 Le combat climatique belge

La Belgique est un Etat Fédéral dans lequel les pouvoirs décisionnels sont répartis entre l'autorité fédérale, les 3 régions (la Wallonie, la Flandre et la Région de Bruxelles-Capitale) et les 3 communautés (la Communauté flamande, la Fédération Wallonie-Bruxelles et la Communauté germanophone). Les Communautés sont compétentes pour les domaines liés à la langue et à la culture tels que l'enseignement [13]. L'Etat fédéral est compétent pour la politique fiscale, les politiques produits, la sécurité de l'approvisionnement énergétique du pays ainsi que les eaux territoriales. Les régions ont, elles, la responsabilité des secteurs tels que l'efficacité énergétique, la promotion des énergies renouvelables, les services de transport public, les infrastructures de transport, l'aménagement urbain et rural, l'agriculture, ainsi que la gestion des déchets. Les régions sont donc principalement compétentes quant aux décisions climatiques mais ont besoin de l'appui et de l'accompagnement du gouvernement Fédéral pour ce qui relève de leurs compétences. Ces différents niveaux de pouvoirs travaillent dès lors en étroite collaboration dans le domaine de la politique énergétique et climatique. C'est en effet, conjointement, que les régions et les pouvoirs fédéraux ont réalisé le PNEC et se sont répartis les responsabilités des émissions de GES et de leur diminution pour les objectifs de 2030 et 2050. La Figure 2.3 montre la répartition des émissions de GES belges de 2021 par secteur [14].

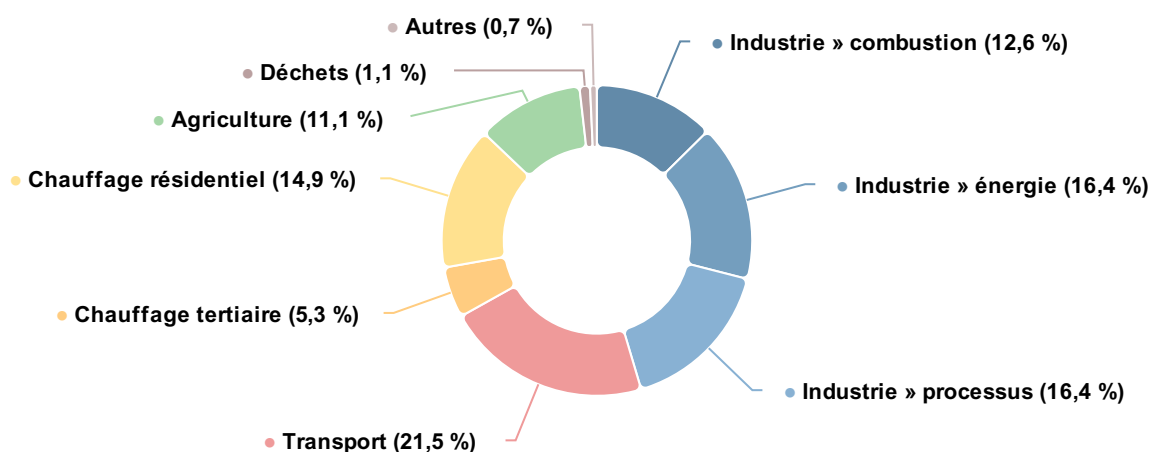


Figure 2.3 – Répartition des émissions belges de GES par secteur en 2021 [14].

Le PNEC [12] établit les principaux contours de la transition vers un système énergétique qui soit à la fois durable, fiable et économiquement accessible à travers les choix et décisions des différents niveaux de pouvoirs. Ses 5 objectifs principaux sont : la décarbonation, l'efficacité énergétique, la sécurité d'approvisionnement énergétique, le marché intérieur de l'énergie ainsi que la recherche, l'innovation et la compétitivité. La dimension qui importe le plus, dans le cadre de ce mémoire, est la décarbonation en Wallonie et, plus particulièrement, en Fédération

Wallonie-Bruxelles, vu l'intérêt pour l'enseignement dans le secondaire. Cependant, les intérêts et objectifs ne sont pas définis en fonction des communautés comme énoncé plus haut mais plutôt en fonction des régions. C'est pourquoi ce travail se concentre principalement sur la région wallonne dont les objectifs restent très proches de ceux la région de Bruxelles-Capitale, région partiellement incluse dans la Fédération Wallonie-Bruxelles. L'objectif de la Wallonie concernant la décarbonation est une réduction contraignante de 37% de ses émissions de GES en 2030 par rapport à 2005 en se basant sur un scénario prenant en compte les mesures supplémentaires développées dans le PNEC. Pour y parvenir, La Wallonie compte agir et agit déjà dans les secteurs clés de la transition énergétique, notamment les bâtiments, les industries, le transport, l'agriculture, les déchets, et bien d'autres encore.

2.1.4 Difficultés à respecter les objectifs climatiques

Cependant, en Belgique comme en Europe, l'Accord de Paris et les objectifs de l'Union Européenne ne sont pas respectés pour le moment. En effet, un rapport de l'institut écologique et du climat de la fondation climat européenne [15] montre que les plans d'énergie et de climat des pays de l'UE souffrent d'objectifs inadéquats et de détails insuffisants sur les politiques, les investissements et les financements nécessaires à la mise en oeuvre de ces plans. De plus, il évoque que les États Membres doivent également mieux impliquer leurs parties prenantes nationales dans la contribution aux plans (individus, entreprises, etc.), afin de bénéficier de leur expertise et de les faire participer à l'élaboration de la politique climatique du pays.

Par rapport à la diminution des émissions de GES, seuls trois pays sur les vingt-huit ont des objectifs dépassant le niveau de conformité de l'UE : la Suède, le Luxembourg et l'Espagne. Tous les autres pays, dont la Belgique, limitent leur ambition à l'exigence légale.

En plus d'avoir des ambitions assez faibles par rapport aux obligations de l'UE et des Accords de Paris, les politiques d'actions proposées par les plans ne sont pas en accord avec les objectifs. Par exemple, les actions pour atteindre les objectifs de diminution d'émissions de GES ne sont pas suffisantes. La Figure 2.4 montre le score sur 10 de la politique d'action quant aux objectifs de chaque pays pour la réduction des émissions de GES, 10 étant le respect total des objectifs. La note moyenne pour l'UE est de 2,6 points sur 10, avec seulement cinq États Membres qui ont plus de la moitié des points. La Belgique obtient quant à elle un score de 4,3 points sur 10, ce qui montre un large écart entre les objectifs et les actions mises en place pour les atteindre.

Dans le cadre de l'évaluation de l'engagement des parties prenantes, l'indicateur présent dans ce même rapport [15] mesure si l'État Membre a organisé une forme de consultation avec

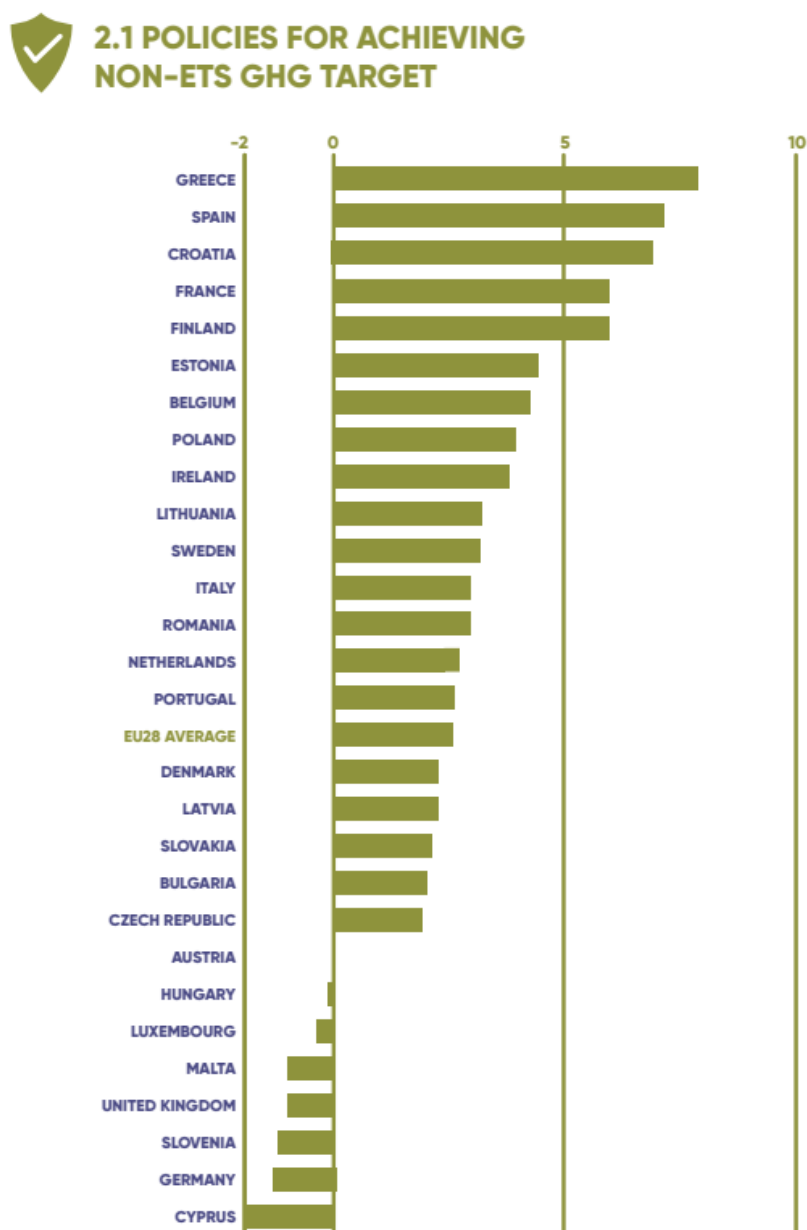


Figure 2.4 – Score d'action politique par rapport aux objectifs nationaux de réduction d'émissions de GES non-ETS[15].

toutes les parties prenantes pertinentes. En l'absence de consultation, ou si celle-ci est communiquée comme étant prévue pour l'avenir, les pays se voient attribuer des points négatifs. Vingt États membres ont obtenu un score égal ou supérieur à 3,8 sur 7,5, soit au-dessus de la moitié. Cependant, la moyenne de l'UE est de 3,2, ce qui reste en dessous de 50%. Cela signifie que de nombreux États membres n'ont pas bien consulté leurs parties prenantes. La Belgique a un score de 3.8 sur 7.5 et est donc proche de la moitié du score.

La politique mise en place au sein de l'UE et en Belgique est donc loin des objectifs de

l’Accord de Paris. Une action rapide et globale de toutes les parties prenantes est donc nécessaire et plus importante que jamais. Les pouvoirs publics, les entreprises et les individus doivent collaborer pour rectifier les objectifs et agir en conséquence pour les respecter.

Par ailleurs, l’objectif de Paris transformé en empreinte individuelle revient à dire que chaque individu ne doit émettre que 2 tCO₂-eq/an[16]. Pour le moment, un Belge moyen a une empreinte carbone d’environ 16 tCO₂-eq/an[17]. Il est donc impératif que chaque individu réduise celle-ci de manière significative, visant à atteindre une diminution d’un facteur 8.

Pour parvenir à atteindre le grand public, la sensibilisation est primordiale. En effet, tous les secteurs d’actions du PNEC évoqués à la sous-section 2.1.3 sont directement ou indirectement liés à la consommation du grand public comme les bâtiments incluant la consommation de chauffage, d’eau chaude et d’électricité ou encore les transports incluant les trajets quotidiens ou les voyages. D’autres secteurs pourraient encore être cités comme les secteurs industriels, agricoles et de déchets par rapport à l’alimentation ou la consommation de biens. Au vu de toutes ces raisons, la Région wallonne pense - et a raison - que l’éducation, la sensibilisation et le changement de comportement du grand public face aux enjeux climatiques ont un rôle essentiel à jouer dans la réalisation des objectifs de l’Accord de Paris et objectifs de réduction d’émissions de GES du PNEC.

2.2 Éduquer et sensibiliser le grand public

2.2.1 L'éducation et la sensibilisation en Wallonie

La Wallonie, en plus de contribuer au PNEC, a créé son propre Plan Air Climat Energie (PACE) [18]. Le PACE partage les objectifs fondamentaux du PNEC mais est axé uniquement, de par sa nature, sur la Wallonie. Afin d'impliquer la population wallonne à l'élaboration de ce PACE, un panel citoyen a été mis en place et a permis de mettre en valeur 9 champs d'actions liés à la vie quotidienne des habitants [19]. Pour chaque champ d'action, une série de recommandations a été identifiée et priorisée sur base de 2 critères : l'impact et l'accessibilité. L'impact est la répercussion qu'une d'entre elles pourrait avoir sur la réduction de GES et l'accessibilité est la mesure dans laquelle la société wallonne est disposée à adopter ces recommandations. Voici quelques exemples de recommandations priorisées :

- Favoriser la diminution de la taille de l'habitat, l'habitat collectif et le partage des ressources
- Construire et/ou rénover durable ou autrement
- Décourager les trajets par avion et déplacements en voiture
- Lutter contre le gaspillage en favorisant les chaînes de mutualisation, réemploi, réparabilité et recyclage

Parmi les 9 champs d'actions mis en valeur, 2 sont particulièrement intéressants dans le cadre de ce mémoire : le premier traite de la sensibilisation et la communication tandis que le deuxième évoque l'enseignement, la formation et l'éducation. Voici les recommandations issues de ces deux domaines d'action, ainsi que les recommandations spécifiques qui ont été identifiées comme ayant la plus haute priorité :

1. Sensibilisation et communication

- (a) Réguler la publicité et réduire le greenwashing²
- (b) Assurer une couverture médiatique des questions environnementales aussi complète que pour la pandémie Covid :
 - Obliger les médias publics et privés à présenter X% de sujets environnementaux dans leurs contenus en première page ou en heures de grande écoute.
- (c) Sensibiliser au changement climatique et former les jeunes pour réduire la consommation

2. Le greenwashing, ou écoblanchiment, est un procédé de marketing ou de relations publiques utilisé par une organisation pour se donner une image trompeuse de responsabilité écologique [20]

2. Enseignement, formation et éducation

(a) Former aux impacts environnementaux des entreprises : éco-gestes, émissions GES du numérique, greenwashing... :

- Dans les entreprises (écoles, administrations, lieux publics), sensibiliser tous les acteurs via tous les canaux de communication possibles à la consommation d'énergie liée au numérique (e-mails, vidéos...), au chauffage, à la climatisation, à l'éclairage et à toutes les pratiques spécifiques de leur secteur d'activité (ex : machines...)

(b) Mettre en œuvre et renforcer l'éducation à l'environnement dans l'enseignement obligatoire (5 à 18 ans), de manière immédiate et prioritaire

- Modifier les « référentiels » scolaires afin d'y intégrer les notions liées à l'environnement et aux changements climatiques.
- Mettre en place un référent « environnement » dans chaque établissement scolaire.
- Mettre en place une formation de base obligatoire sur les notions d'environnement et de changement climatique dans le cadre de la formation continue des enseignants ainsi que dans la formation initiale des futurs enseignants.
- Soutenir une éducation active à l'environnement, dans la nature.
- Créer des éco-teams pour permettre aux élèves de développer leurs projets au sein de l'école.
- Promouvoir l'enseignement professionnel de certains métiers « oubliés » (ex. cordonnier) ou à développer/ à créer (recyclage...)

Ces recommandations, bien que non exhaustives, témoignent de l'engagement des citoyens et du gouvernement wallon en faveur de l'éducation et de la sensibilisation dans la lutte de la région contre le dérèglement climatique. Par ailleurs, un bon nombre de ces recommandations visent la jeunesse. En effet, la jeunesse a également son rôle à jouer dans la lutte contre le réchauffement global et la réduction des émissions de GES.

2.2.2 Importance d'éduquer et sensibiliser la jeunesse en Fédération Wallonie-Bruxelles

Ce mémoire s'intéresse aux élèves de fin de secondaire. Dans ce travail, sont considérés comme élèves de fin de secondaire ceux de la 2^e moitié du secondaire, c'est-à-dire de 4^e, 5^e et

de 6^e année. Ils ont donc, s'ils n'ont pas redoublés ou ne sont pas en avance, entre 15 et 18 ans. Cette population correspond à environ 5.5 % du peuple belge [21].

Cette sous-section s'inspire principalement de deux sources axées sur l'éducation aux enjeux climatiques : un avis officiel du Forum des jeunes [22] ainsi qu'un rapport de l'UCLouvain [23]. L'avis officiel écrit par le forum des jeunes en 2022 développe le contexte, le profil des participants et les résultats d'une enquête sur l'éducation climatique menée auprès de 1019 jeunes de 16 à 30 ans dont 60% ont entre 16 et 18 ans. Il a été jugé cohérent de prendre en compte les résultats de cette enquête vu le nombre important de répondants dans la tranche d'âge intéressée. Le rapport de l'UCLouvain datant de 2022, réalisé suite à un appel du Conseil fédéral pour le développement durable, explique la diversité des enjeux climatiques auprès des 15-24 ans en Belgique. Ils ont également réalisé une enquête auprès de 1000 jeunes répondants de 15 à 24 ans et ont développé les résultats dans leur rapport. Les données chiffrées utilisées dans cette sous-section proviennent de ces 2 enquêtes. Il est important de noter que certaines de ces données et résultats ne reflètent donc pas exclusivement les aspects de la tranche d'âge 15-18 ans mais que celle-ci est tout de même fortement représentée parmi les participants qui ont contribué aux enquêtes.

Importance de cibler les jeunes de 15-18 ans pour l'éducation climatique

L'éducation climatique ciblant les jeunes de 15 à 18 ans revêt une importance capitale dans la lutte contre le changement climatique. Ces adolescents se situent à un stade crucial de leur développement cognitif et social, où ils sont de plus en plus capables de comprendre les enjeux complexes liés au climat et à l'environnement. De plus, les enquêtes menées par le Forum des Jeunes en 2022 révèlent que 88% de ces jeunes sont profondément préoccupés par les problèmes environnementaux. Parmi eux, 44% éprouvent de l'éco-anxiété ou ressentent de la peur en envisageant l'avenir de la planète. Cela indique une sensibilisation notable à la crise climatique au sein de cette population.

Les raisons de cibler spécifiquement les jeunes de 15 à 18 ans sont multiples. Le rapport de l'UCLouvain souligne que l'éducation climatique des jeunes de 15 à 18 ans doit se concentrer sur le développement de leur pensée critique, de leur capacité à évaluer les informations et à comprendre les mécanismes du changement climatique.

Tout d'abord, cette période correspond à un moment où les jeunes commencent à prendre des décisions importantes pour leur avenir, notamment en matière d'éducation supérieure et de carrière. En les sensibilisant aux enjeux climatiques à ce stade, il est possible d'influencer leurs choix professionnels vers des carrières axées sur le développement durable ou sur les enjeux

climatiques. Il est également envisageable que, grâce à leur sensibilisation et à leur éducation par rapport aux enjeux climatiques, certaines de leurs futures décisions professionnelles, même dans des domaines non liés au développement durable ou aux enjeux climatiques, intègrent ces considérations.

De plus, les jeunes de cette tranche d'âge sont souvent considérés comme des agents de changement au sein de leurs familles et de leurs communautés [24]. Ils sont capables de diffuser les connaissances acquises à l'école à leur entourage, ce qui peut avoir un effet multiplicateur en encourageant des comportements plus respectueux de l'environnement au sein de leur réseau social.

Les enquêtes révèlent également que ces jeunes sont motivés par divers facteurs, notamment la volonté d'agir pour leur propre avenir (62%), la prise de conscience de l'urgence de la situation (59%), la préoccupation pour les générations futures (48%), et le sentiment d'appartenir à une génération qui peut provoquer un changement (47%).

Cependant, il est important de noter qu'il existe également une partie de cette population (12%) qui ne se sent pas concernée par les enjeux environnementaux. Leur principale justification est le sentiment d'impuissance, pensant qu'ils ne peuvent pas faire grand-chose pour résoudre les problèmes environnementaux. Cela souligne le besoin de fournir des outils et des ressources pour renforcer leur sentiment d'influence et d'impact sur le monde.

Analyse de la sensibilité des jeunes à la question du changement climatique

Le rapport de l'UCLouvain met en avant l'importance de l'analyse de la sensibilité des jeunes à la question du changement climatique. Par ailleurs, les enquêtes menées par le Forum des Jeunes en 2022, ainsi que d'autres études internationales, révèlent une sensibilité croissante des jeunes à la question du changement climatique. En effet, sur 10 000 jeunes de 16 à 25 ans issus de 10 pays différents, 59% d'entre eux se déclarent "très" ou "extrêmement" préoccupés par le changement climatique, selon une enquête publiée par The Lancet en 2021 [25].

Le rapport de l'UCLouvain met également en lumière un paradoxe : malgré cette préoccupation croissante, une grande partie de ces jeunes (62%) estime ne pas en savoir suffisamment sur les enjeux environnementaux actuels. De plus, 83% d'entre eux ne connaissent pas de sources d'information adaptées aux jeunes sur le changement climatique. Cette lacune de connaissances souligne la nécessité d'une éducation climatique formelle.

Le rôle des jeunes dans la lutte contre le changement climatique est crucial. Ils sont la génération qui vivra avec les conséquences à long terme de la crise climatique, et leur engagement

peut jouer un rôle majeur dans la recherche de solutions. Cependant, pour qu'ils puissent jouer ce rôle, ils ont besoin d'une éducation climatique solide.

Le rôle de l'éducation climatique à l'école secondaire

L'école secondaire offre un espace d'éducation inestimable pour sensibiliser les jeunes au changement climatique. C'est le seul environnement où tous les jeunes ont accès à des informations structurées et équilibrées sur les questions environnementales. Contrairement aux médias et autres sources d'informations qui ne touchent qu'une partie de la jeunesse qui s'intéresse aux enjeux climatiques, l'école est obligatoire pour tous et est l'un des seuls cadres où tous les jeunes peuvent être sensibilisés. L'école devrait jouer un rôle d'égaliseur social en fournissant des informations qui permettent à chaque élève de devenir un citoyen informé et engagé dans une société en transition.

Les enquêtes révèlent que 4 jeunes sur 5 (80%) soulignent l'importance de l'éducation scolaire pour encourager l'engagement des jeunes en faveur de l'environnement. De plus, 58% des jeunes interrogés estiment que leur formation scolaire actuelle ou passée ne permet pas de prendre des décisions durables et respectueuses de l'environnement dans leur futur. En réalité, 74% des jeunes estiment que les thématiques liées à l'environnement n'ont pas été suffisamment (60%) ou pas du tout (14%) abordées dans leur parcours scolaire.

Pour répondre à ces besoins, il est essentiel de renforcer l'éducation climatique à l'école secondaire. Les jeunes devraient être exposés à des informations précises, à jour et adaptées à leur niveau de compréhension. De plus, cette éducation ne devrait pas se limiter à une seule matière, mais être intégrée de manière transversale dans le programme scolaire. En effet, 91% des jeunes consultés estiment que l'éducation à l'environnement devrait davantage être abordée dans le cadre du cursus scolaire.

Le rapport de l'UCLouvain insiste sur le fait que l'éducation climatique à l'école secondaire doit aller au-delà de la simple sensibilisation. Elle doit également encourager les jeunes à développer des compétences critiques, à comprendre les mécanismes du changement climatique, et à prendre des mesures concrètes pour réduire leur empreinte carbone.

Création d'un calculateur simplifié d'émissions de GES pour élèves de fin de secondaire

Comme le suggère ce rapport sur la jeunesse et l'éducation climatique publié dans le journal "Environmental Education Research" [26], l'intégration de la sensibilisation au changement climatique dans un programme axé sur l'action, en utilisant une approche pédagogique participative, donnerait aux enfants et aux jeunes les moyens de participer de manière efficace à l'acti-

visme environnemental au quotidien. Pour renforcer l’éducation climatique à l’école secondaire et utiliser une approche pédagogique participative, la création d’un calculateur simplifié d’émissions de GES spécifiquement conçu pour les élèves de fin de secondaire est une solution, s’il est accompagné d’une formation plus générale sur les enjeux climatiques. Selon le rapport de l’UCLouvain, l’un des principaux obstacles entravant l’engagement et le changement de comportements des jeunes est le manque de retour sur les résultats de leurs actions. Ce calculateur leur permettrait de mieux visualiser leurs impacts. Il se doit également d’être facile d’utilisation, intuitif, visuel et ne pas nécessiter une quantité excessive de temps pour être complété. L’objectif est de rendre la mesure de l’empreinte carbone individuelle aussi accessible que possible pour les jeunes.

Ce calculateur permettrait aux élèves de mesurer leur empreinte carbone en fonction de leurs choix de vie, de leur alimentation, de leurs déplacements, de leur consommation d’énergie, etc. Les résultats obtenus devraient être présentés de manière claire et compréhensible, mettant en évidence l’impact de leurs actions sur l’environnement. De plus, il pourrait inclure des suggestions d’actions concrètes pour réduire leur empreinte carbone, encourager les comportements durables, et leur montrer comment ils peuvent contribuer positivement à la réduction de leurs émissions de GES.

2.3 Synthèse du chapitre

Ce chapitre a exploré les fondements du changement climatique, soulignant son impact global et les actions nécessaires pour atténuer ses conséquences. La Wallonie et la région de Bruxelles-Capitale, en tant que régions engagées dans la lutte contre le changement climatique, ont formulé leurs Plan Air Climat Energie (PACE) comprenant des recommandations spécifiques, notamment dans le domaine de l'éducation et de la sensibilisation. Dans cette optique, la Fédération Wallonie-Bruxelles et la Wallonie, en qualité d'autorités compétentes, s'emploient à mettre en œuvre des initiatives éducatives visant à sensibiliser les élèves.

La section sur les fondements du changement climatique a mis en lumière les causes anthropiques du réchauffement planétaire, les impacts actuels et potentiels sur l'environnement, les objectifs internationaux, nationaux et régionaux ainsi que la nécessité d'une action collective. Cette compréhension approfondie a établi le contexte pour la deuxième section, qui s'est concentrée sur l'éducation et la sensibilisation.

La Wallonie, à travers son PACE, met en avant des recommandations prioritaires pour sensibiliser la population et en particulier les jeunes, aux enjeux environnementaux. Il est impératif de sensibiliser les élèves de secondaire, étant donné leur rôle crucial en tant qu'agents de changement potentiels au sein de la population. Plusieurs enquêtes révèlent la préoccupation croissante des jeunes pour les problèmes environnementaux, mais également leurs connaissances lacunaires. L'école secondaire a donc été identifiée comme un terrain privilégié pour renforcer l'éducation climatique.

Ce chapitre s'est conclu sur la nécessité d'une approche éducative holistique, d'outils pratiques et pédagogiques pour encourager l'action individuelle et collective dans la lutte contre le changement climatique. Afin de concrétiser cette éducation, l'idée d'un calculateur d'empreinte carbone simplifié spécifiquement conçu pour les élèves de fin de secondaire est proposée. Ce calculateur vise à rendre l'évaluation de l'impact individuel accessible, visuelle et informative, renforçant ainsi l'engagement des élèves dans la réduction de leur empreinte carbone.

Création du calculateur d'empreinte carbone

3.1 Empreinte Carbone

3.1.1 Définition

L'empreinte carbone est une mesure qui a pour but de comptabiliser l'ensemble des émissions de GES de l'ensemble des activités d'une entreprise, d'une collectivité ou de particuliers. Cette comptabilisation permet d'attribuer un poids équivalent CO₂ à chaque comportement et chaque activité. En utilisant ce poids équivalent CO₂, noté kgCO₂-eq, il devient possible de comparer les émissions de GES entre différentes activités ou secteurs d'activité, permettant ainsi d'identifier ceux qui émettent le plus. Une fois l'empreinte carbone calculée, cela offre la possibilité d'agir spécifiquement sur certaines activités afin de réduire les émissions qui leur sont associées, tout en permettant une évaluation chiffrée de ces actions. De plus, cette approche permet aux entreprises, collectivités et particuliers de prendre conscience de leur responsabilité quant à leurs propres émissions de GES, qui contribuent entre toutes les autres, au réchauffement global et au changement climatique, tout en leur fournissant une hiérarchisation de leurs émissions [27, 28]. L'empreinte carbone ne prend donc en considération que les émissions de GES d'origine anthropique provoquant le réchauffement global et ne prend donc pas d'autres aspects écologiques et environnementaux en compte tels que l'épuisement des ressources, l'impact sur la biodiversité, l'acidification, etc. [29]

3.1.2 Méthodes

Il existe plusieurs méthodes références pour le calcul d'émissions de GES. Parmi les plus reconnues, on retrouve le *GHG Protocol*, la norme *ISO 14064* et la méthode *Bilan Carbone* [30]. Ces trois méthodes sont tellement proches qu'on peut les qualifier de presque équivalentes. Le *GHG Protocol* est la référence mondiale et est la méthode la plus utilisée, sa première édition a été publiée en 2001. La norme *ISO 14064* a été créée en 2006 et se base directement sur le *GHG Protocol* [30, 31]. La méthode *Bilan Carbone* [32], également très proche des 2 autres, a été créée

par l’Agence de l’environnement et de la maîtrise de l’énergie française (ADEME) en 2004 et est la méthode la plus utilisée en France. Cette dernière se veut également être une méthode complétée par des outils spécifiques exhaustifs tandis que le *GHG Protocol* ne contient pas d’outils accompagnateurs. C’est notamment pourquoi la méthode *Bilan Carbone* a été retenue comme méthode de référence pour la réalisation du calculateur pour élèves. Une autre raison est l’utilisation du français dans la méthode, langue de ce mémoire et également utilisée dans le questionnaire, destiné à des élèves francophones. La plupart des facteurs d’émissions sont également repris de l’ADEME et il est donc naturel de s’appuyer sur leur méthode.

3.1.3 Méthode *Bilan Carbone*

Cette méthode est davantage conçue pour les entreprises mais peut très bien être adaptée aux individus et donc, notamment, aux élèves. L’application de cette méthode pour les élèves est décrite à la Section 3.4. Voici les étapes clés de la méthode.

Cadrage

La première étape est de définir un périmètre organisationnel, c’est-à-dire, de définir les limites des activités et des opérations prises en compte dans le calcul des émissions de GES. La méthode *Bilan Carbone* de l’ADEME peut inclure différentes approches pour définir ce périmètre organisationnel, notamment en prenant en compte le contrôle financier et opérationnel sur les équipements et installations.

Identification des sources et émissions

L’étape suivante est de définir un périmètre opérationnel qui a pour but d’identifier toutes les sources et émissions incluses dans le périmètre organisationnel. Il inclut les émissions directes provenant physiquement du périmètre organisationnel, ainsi que les émissions indirectes résultant des opérations, activités, et de l’usage des biens et services produits par l’entreprise ou la collectivité. Les émissions sont réparties en six catégories : émissions directes, émissions indirectes liées à l’énergie, émissions indirectes liées au transport, émissions indirectes liées aux produits achetés, émissions indirectes liées aux produits vendus, et autres émissions indirectes. Les Figures 3.1 et 3.2 détaillent ces catégories [32].

Ensuite, il faut définir un périmètre de déclaration. Il intervient après l’identification et la répartition par catégorie de l’ensemble des émissions de GES du périmètre opérationnel. Ce processus vise à déterminer quelles émissions du périmètre opérationnel doivent être incluses dans le bilan d’émissions de GES. L’établissement du périmètre de déclaration consiste à cibler

Catégorie	Poste	Exemples de sources d'émissions
1. ÉMISSIONS DIRECTES DE GES	1.1 Emissions directes des sources fixes de combustion	Consommation de combustibles – fioul, bois, gaz naturel... – dans une chaudière (du périmètre organisationnel)
	1.2 Emissions directes des sources mobiles de combustion	Consommation de carburant dans une voiture, un poids lourd ou autre engin (du périmètre organisationnel)
	1.3 Emissions directes des procédés hors énergie	Procédés industriels autres que la combustion tels que la décarbonatation (dans une installation du périmètre organisationnel)
	1.4 Emissions directes fugitives	Fuites (issues du périmètre organisationnel) de fluides frigorigènes, de méthane lors de la décomposition anaérobie des déchets, de protoxyde d'azote lors de l'épandage des engrais
	1.5 Emissions issues de la biomasse (sols et forêts)	Imperméabilisation de prairies ou forêts (du périmètre organisationnel) pour des besoins d'urbanisme (routes, parkings, bâtiments, etc.), déforestation pour la conversion d'une surface (du périmètre organisationnel) en terre agricole
2. ÉMISSIONS INDIRECTES ASSOCIÉES À L'ÉNERGIE	2.1 Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	Génération de l'électricité par une centrale (non incluse dans le périmètre organisationnel) thermique, nucléaire ou de production d'électricité renouvelable
	2.2 Emissions indirectes liées à la consommation d'énergie autre que l'électricité	Fonctionnement de turbines ou chaudières (hors du périmètre organisationnel)
3. ÉMISSIONS INDIRECTES ASSOCIÉES AU TRANSPORT	3.1 Transport de marchandise amont	Transport de marchandises par poids lourd, train, bateau, avion, vélo à assistance électrique, etc. dont le coût est supporté par la Personne Morale
	3.2 Transport de marchandise aval	Transport de marchandises par poids lourd, train, bateau, avion, vélo à assistance électrique, etc. dont le coût n'est pas supporté par la Personne Morale
	3.3 Déplacements domicile-travail	Voiture, transport collectif, deux-roues motorisé, vélo à assistance électrique, etc. utilisé par l'employé-e pour se rendre au travail
	3.4 Déplacements des visiteurs et des clients	Avion, train, voiture en location, taxi, vélo à assistance électrique, etc. ou transport collectif urbain utilisé par le visiteur ou client pour se rendre dans une des installations du périmètre organisationnel
	3.5 Déplacements professionnels	Avion, train, voiture en location, taxi, vélo à assistance électrique, etc. ou transport collectif urbain utilisé pour le déplacement professionnel

Figure 3.1 – Première partie des catégories d'émissions de GES selon la méthode *Bilan Carbone* [32].

les émissions indirectes significatives au sein du périmètre opérationnel. Cette identification est réalisée en suivant une procédure par étapes : choisir les critères pour identifier les émissions indirectes significatives, évaluer en ordre de grandeur les émissions indirectes et enfin, appliquer les critères et sélectionner les postes significatifs.

Collecte des données

L'entreprise ou la collectivité recueille alors toutes les données du périmètre de déclaration nécessaires au calcul du bilan carbone.

Calcul du bilan et analyses

Plusieurs méthodes d'évaluation des émissions de GES sont possibles : le mesurage, le calcul ou une combinaison des deux. L'approche classique repose sur le calcul utilisant des facteurs d'émission, des pouvoirs de réchauffement global (PRG) documentés, et des données

4. ÉMISSIONS INDIRECTES ASSOCIÉES AUX PRODUITS ACHETÉS	4.1 Achats de biens	Extraction (ou culture) puis transformation des matériaux pour la production des produits non durables achetés par la Personne Morale : matières premières pour la production, papier, fournitures diverses...
	4.2 Immobilisations de biens	Extraction (ou culture) puis transformation des matériaux pour la production des produits non durables achetés par la Personne Morale : bâtiments et autres infrastructures, véhicules, machines, matériel informatique...
	4.3 Gestion des déchets	Collecte et traitement – incinération, compostage, enfouissement, recyclage... – des déchets et effluents issus du périmètre organisationnel
	4.4 Actifs en leasing amont	Production, utilisation, entretien, fin de vie de biens - véhicules, logements, engins - qui sont loués par la Personne Morale à des tiers qui en sont les propriétaires
	4.5 Achats de services	Activités donnant lieu à la production d'un service – banque, publicité, conseil, étude technique... - acheté par la Personne Morale
5. ÉMISSIONS INDIRECTES ASSOCIÉES AUX PRODUITS VENDUS	5.1 Utilisation des produits vendus	Production de l'énergie et des matières consommés pendant toute leur durée de vie par les produits vendus durant l'année de reporting par la Personne Morale
	5.2 Actifs en leasing aval	Production, utilisation, entretien, fin de vie de biens - véhicules, logements, engins - qui appartiennent à la Personne Morale et sont loués à des tiers qui en sont les utilisateurs
	5.3 Fin de vie des produits vendus	Collecte et traitement – incinération, compostage, enfouissement, recyclage... - lors de leur fin de vie des produits vendus durant l'année de reporting par la Personne Morale
	5.4 Investissements	Activités et projets financés par la Personne Morale
6. AUTRES ÉMISSIONS INDIRECTES	6.1 Autres émissions indirectes	Sources d'émissions indirectes découlant des activités de la Personne Morale et qui ne peuvent être comptabilisées dans l'un des autres postes

Figure 3.2 – Deuxième partie des catégories d’émissions de GES selon la méthode *Bilan Carbone* [32].

d’activité vérifiables. Néanmoins, pour les émissions directes, la méthode de mesure directe à l’aide de capteurs est également employée, offrant une meilleure précision et réduit l’incertitude. Idéalement, cette approche peut être associée à la méthode de calcul pour consolider davantage les résultats.

Mesure : $\text{GES} = \text{quantité de gaz émis} \cdot \text{PRG du gaz en question}$

Calcul : $\text{GES} = \text{donnée d'activité} \cdot \text{FE}$

Les facteurs d’émission (FE) permettent de convertir une donnée d’activité en quantité de gaz émise. La multiplication de cette quantité de gaz par le PRG du gaz en question permet de quantifier l’impact climatique selon une seule unité : le kilogramme équivalent dioxyde de carbone, noté $\text{kgCO}_2\text{-eq}$. Dans beaucoup de cas, les facteurs d’émission intègrent déjà les PRG et convertissent directement la donnée d’activité en $\text{kgCO}_2\text{-eq}$.

Toutes les émissions, chiffrées en $\text{kgCO}_2\text{-eq}$, sont ensuite catégorisées par activité ou secteur d’activité. Cela permet d’analyser et de clarifier les points clés sur lesquels l’entreprise ou la collectivité peut agir.

Dans le cadre de ce mémoire, il faut donc adapter cette méthode *Bilan Carbone* à la création d'un outil en ligne pour qu'un élève de secondaire puisse évaluer ses émissions de GES. Avant d'appliquer la méthode pour cet outil, un passage en revue des calculateurs existants ainsi qu'un développement et des explications du cadre du projet sont nécessaires.

3.2 Calculateurs existants

Il existe une multitude de calculateurs d’empreinte carbone¹ en ligne. Ils sont tous différents et se distinguent par plusieurs aspects, notamment selon qu’ils adressent aux entreprises, aux particuliers ou aux événements, mais aussi les hypothèses et choix de calculs de poids carbone, ou encore le temps de complétion du questionnaire. Par exemple, les calculateurs pour particuliers d’*EcoTree* [33] et de *GoodPlanet* [34] sont très axés sur les transports et demandent les données de façon assez brute. Celui de la *RTBF* [35] se veut être complété en moins d’une dizaine de minutes. Le calculateur de *Nos Gestes Climats* [36] se base sur les comportements et habitudes des français tandis que les calculateurs de l’AWAC [37] mettent plutôt l’accent sur la lisibilité et la narration des questions. Certains de ces calculateurs sont également plus précis que d’autres, incluent tels aspects de la vie du particulier qu’un autre calculateur ne prend pas en compte ou essaie justement de prendre en compte un minimum d’aspects pour que l’utilisateur remplisse plus vite le questionnaire. Un calculateur en ligne est fait de choix et calcule, de par sa nature, une approximation du poids carbone du particulier ou de l’entreprise et non l’empreinte carbone exacte.

Ces calculateurs destinés aux particuliers partagent tous une caractéristique commune : ils ciblent exclusivement les personnes déjà intégrées dans la vie active. Aucun d’entre eux ne prend en considération les habitudes spécifiques de vie des élèves du secondaire ou des étudiants du supérieur. C’est dans cette optique que l’AWAC et ses partenaires ont pris l’initiative de concevoir des calculateurs spécialement adaptés pour répondre aux comportements et habitudes distincts des étudiants du supérieur et des élèves du secondaire. L’an dernier, un calculateur destiné aux étudiants du supérieur [38] a donc été développé par un mémorant et est actuellement en phase de révision en vue de son intégration sur le site de l’AWAC pour s’ajouter aux calculateurs déjà existants : le *calculateur individuel*, le *calculateur événements* et le *calculateur TPE/PME* [37]. Cette année, l’objectif de ce mémoire est donc de créer un nouvel outil de calcul spécifiquement dédié aux élèves du secondaire. En effet, comme évoqué dans la sous-section 2.2.2, il est crucial que les élèves du secondaire aient également accès à un tel outil pour établir leur empreinte carbone. Un outil spécifique s’avère essentiel étant donné que leurs habitudes diffèrent du reste de la population : leur rythme de vie suit le calendrier scolaire plutôt que civil, leurs déplacements sont spécifiques à leur vie entre l’école et leur domicile, leur alimentation est partagée entre les repas à l’école et à la maison, leurs possessions ainsi que centres d’intérêt se distinguent de ceux des particuliers déjà dans la vie active, etc. Un calculateur de l’OCE (Office for Climate

1. Les termes empreinte carbone et bilan carbone sont utilisés indistinctement dans ce mémoire car est analysé le cas d’un calculateur pour des particuliers en scope 3 et non des organisations. Plus de précisions en suivant ce lien : Empreinte ou bilan carbone : quelle différence ?

Education [39]) destiné aux élèves existent déjà, cependant il n'est pas spécifiquement dédié aux élèves de la Fédération Wallonie-Bruxelles car il est en anglais. De plus, les questions sont assez brutes et ne respectent pas une narration aisée et facile pour des élèves. Les calculateurs de l'AWAC sont à la recherche de questions plus claires et d'une narration spécifiquement adaptée au public cible. Les calculateurs officiels de l'AWAC sont accessibles à partir de **ce lien**, tandis que ceux en cours de développement destinés aux étudiants et aux élèves peuvent être consultés **ici**.

3.3 Cadre du projet

3.3.1 Objectifs

Comme le conclut la Section 2, l’objectif principal de ce projet est de créer, pour les élèves du secondaire, un calculateur fonctionnel dont le vocabulaire et les données sont accessibles à cette population dans un cadre scolaire. Cet outil a pour objectif de sensibiliser les élèves à leur propre empreinte carbone en mettant en avant les points clés de leurs émissions de GES grâce aux ordres de grandeur de ces émissions et en couvrant un maximum de leurs activités, c’est-à-dire, en prenant un périmètre de déclaration le plus large possible. Il doit également permettre aux élèves de chiffrer un changement de comportement qu’ils pourraient adopter pour diminuer leur empreinte carbone. Il ne vise donc pas à proposer des changements et n’incite pas directement les utilisateurs à changer leurs comportements mais leur permet de chiffrer les impacts de ces changements sur leur empreinte carbone.

3.3.2 Contexte

L’outil a pour vocation d’être utilisé en classe de quatrième, cinquième et sixième humanité. Les élèves de secondaire plus jeunes peuvent également utiliser celui-ci malgré le fait qu’il soit spécifiquement conçu pour des élèves plus âgés. Les raisons de ce choix ont été expliquées en Section 2. Les élèves utiliseraient leur propre smartphone, une tablette ou un ordinateur mis à disposition par l’école pour utiliser l’outil en ligne. Par ailleurs, les cours de sciences ou de géographie paraissent être les plus pertinents pour le sujet du changement climatique mais tout autre professeur se sentant concerné par cette problématique peut également utiliser l’outil dans le cadre de son cours. Le calculateur peut également être utilisé au sein d’une Eco-team de l’école [40] ou lors d’activités pédagogiques hors du cadre de cours habituels. Il peut cependant être réalisé à la maison en omettant les questions sur l’école dont les données seraient compliquées à obtenir et même à estimer.

Ce calculateur diffère de ceux précédents de l’AWAC car il n’est pas voué à être utilisé par l’utilisateur directement chez lui mais est présenté dans le cadre scolaire. En effet, le professeur qui propose de réaliser l’empreinte carbone est un intermédiaire entre l’outil et les élèves. Il permet de contextualiser la réalisation de cette empreinte carbone, de répondre aux questions des élèves et de les guider en cas de difficultés. C’est pourquoi le développement de ce calculateur a été réalisé avec l’aide de cinq professeurs du secondaire donnant des cours de géographie ou de sciences dans des classes de quatrième, cinquième ou sixième année. Il a également été supervisé par le Professeur Marichal, expert en empreinte carbone et co-créateur des calculateurs

précédents de l'AWAC. Ils ont en effet une connaissance approfondie des comportements des élèves de cet âge car ils les côtoient quotidiennement. En plus, il est naturel d'inclure un panel de professeurs aussi représentatif que possible du corps professoral de la Fédération Wallonie-Bruxelles dans la réalisation de cet outil, vu sa vocation à être utilisé en cours. La collaboration avec les professeurs est développée dans la sous-section 3.4 et dans le Chapitre 4.

3.3.3 Contraintes

Un calculateur d'empreinte carbone en ligne est fait de choix, d'hypothèses et de partis pris comme expliqué à la sous-section 3.2. Dans ce projet de mémoire, s'ajoutent, en plus de ceux-ci, des contraintes liées aux calculateurs de l'AWAC, au public cible ou encore à la façon dont l'outil est proposé à ce public.

Spécificités techniques des calculateurs de l'AWAC

Ce calculateur est développé sur un serveur privé non accessible au public qui reprend exactement le même format d'affichage des questions et de résultats que les autres calculateurs [41]. Il s'inspire également des calculateurs de l'AWAC précédents [37].

La Figure 3.3 montre comment est organisé l'affichage du questionnaire sur le site². Le questionnaire est divisé en 6 modules, qui peuvent eux-mêmes être partagés en sous-modules pour lesquels il n'y a pas de limite de nombre. La subdivision des modules et sous-modules ainsi que les noms qui y sont associés sont expliqués à la sous-section 3.4 *Application de la méthode Bilan Carbone dans le processus de création du calculateur*. Au fur et à mesure du remplissage du questionnaire, le poids carbone est calculé et affiché en regard de chaque sous-module et module. Le poids carbone total est également affiché. Le *mode avancé* permet à l'utilisateur de remplir une valeur plus précise de la donnée s'il y a accès. L'*infomode* sert quant à lui à donner plus d'informations à l'utilisateur sans surcharger le questionnaire principal. Ces informations complémentaires peuvent par exemple servir à expliquer d'où viennent les émissions de GES liées à une question ou de développer pourquoi telle ou telle émission est prise en compte ou pas.

La Figure 3.4 montre l'affichage des résultats du questionnaire. Un graphe permet à l'utilisateur de visualiser son empreinte selon les modules et sous-modules. Le module avec le poids carbone le plus élevé apparaîtra en premier dans le graphe allant ainsi, de gauche à droite, du

2. Les valeurs remplies dans le questionnaire affiché ne reflètent pas les données typiquement saisies par un utilisateur. Elles ont été utilisées uniquement à des fins de démonstration du fonctionnement du questionnaire. Les ordres de grandeur restent cependant plausibles.



Figure 3.3 – Organisation de l'affichage du questionnaire.

module où l'utilisateur émet le plus au module où il émet le moins. Il est donc important de réaliser une subdivision subtile et cohérente des modules car l'affichage des résultats et le ressenti de l'utilisateur par rapport à ces résultats sera en grande partie liée aux modules et à leur dénomination. Un *Mode action* est également disponible. Si l'utilisateur l'active, il peut aller modifier des données encodées dans le questionnaire. Le poids carbone est alors adapté en fonction des nouvelles données encodées et l'utilisateur peut alors voir l'impact chiffré d'un changement de comportement.

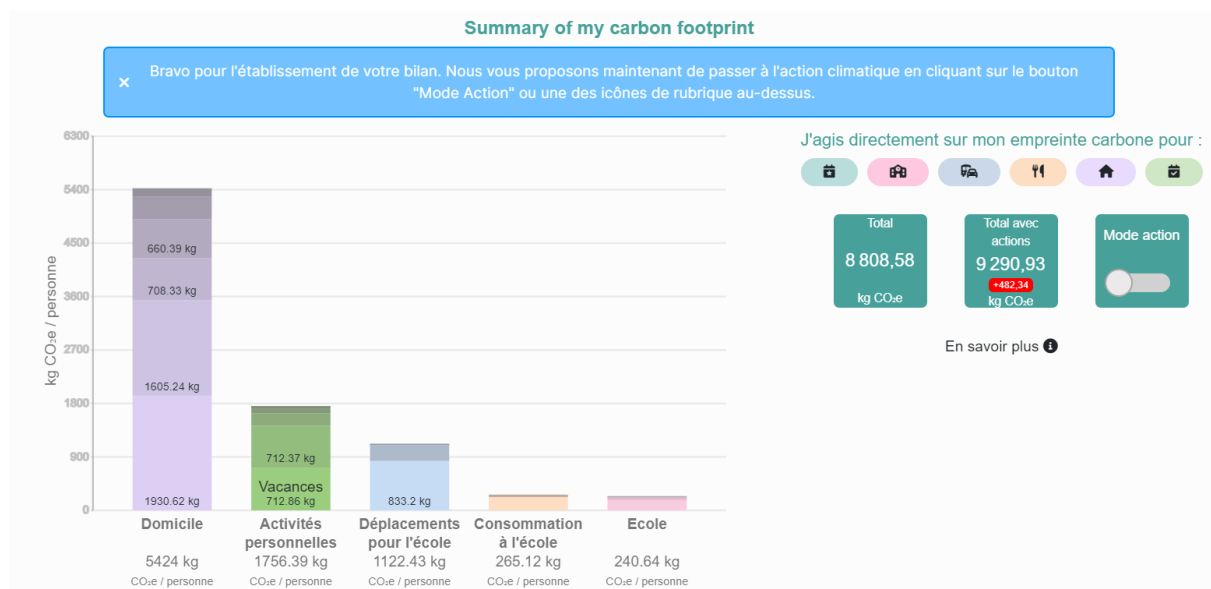


Figure 3.4 – Affichage des résultats du questionnaire.

Précision et temps de réponse

Au travers de ses calculateurs, l'ambition de l'AWAC est que chacun puisse découvrir son empreinte carbone en 15 à 30 minutes. C'est un des points importants sur lequel l'AWAC met l'accent. Si un test dure plus longtemps, l'utilisateur pourrait en avoir marre et ne pas aller jusqu'au bout du test ou le remplir à la va-vite. C'est pourquoi rester dans ces limites est préférable. Ce calculateur diffère encore des précédents car un cours en Fédération Wallonie-Bruxelles dure 50 minutes [42]. Il serait donc intéressant de pouvoir compléter tout le questionnaire et d'analyser les résultats en un cours de 50 minutes. Il existe un compromis entre temps de réponse et précision. Un calculateur d'empreinte carbone précis devrait prendre en compte un large éventail de facteurs et de variables qui contribuent aux émissions de GES de l'utilisateur. La précision dépend de la qualité des données d'entrée et de la robustesse de la méthodologie utilisée par le calculateur. En général, plus le calculateur est précis, plus le temps de réponse de l'utilisateur sera grand. Il faut donc faire des choix quant aux questions posées, à l'étendue et la portée du périmètre pris en compte ou encore à la façon de calculer le poids carbone d'une activité. Par exemple, il sera plus court et aisé de demander directement la valeur en kWh de la quantité de gaz consommé par l'école sur une année. Cependant, pour le gaz consommé à la maison, poser cette question est impossible car l'élève ne connaît pas cette valeur. Il faut donc réfléchir à une autre façon de poser la question et de faire les calculs de poids carbone.

Accessibilité des données

L'accessibilité des données demandées dans le questionnaire est également très importante. Un élève qui a entre 15 et 18 ans n'a pas les mêmes références qu'un adulte ou n'a tout simplement pas directement accès à certaines données lorsqu'il est en classe. Il est peut-être également envisageable de demander aux élèves de préparer certaines données avant de venir en classe et d'utiliser l'outil. Par exemple un adulte aura plus facilement une idée de distance pour les voyages qu'il effectue ou une idée de la température désirée à la maison. C'est pourquoi il faut parvenir à se mettre à la place d'un élève dans les conditions dans lesquelles il effectuera le test afin de savoir si les données demandées lui sont accessibles ou non. Si l'élève ne connaît pas une donnée, il ne répondra peut-être pas à la question ou estimera cette donnée, ce qui dans les deux cas, conduit à une imprécision dans les résultats finaux.

Accessibilité du vocabulaire et formulation

Le vocabulaire utilisé se doit d'être également abordable afin que les adolescents comprennent à chaque question ce qui leur est demandé. En effet, le questionnaire est rédigé sous forme de textes à trous. L'utilisateur doit donc comprendre facilement et rapidement ce qui lui

est demandé grâce notamment à des mots clés avant la donnée ou juste après comme par exemple une unité juste après une variable attendant un nombre ou encore le verbe "situer" dans la phrase "mon école est située à" où la variable attendue est la localisation de l'école.

3.4 Application de la méthode *Bilan Carbone* dans le processus de création du calculateur

Connaissant la théorie sur la méthode *Bilan Carbone*, les objectifs, le contexte et les contraintes de ce projet de création du calculateur pour élèves, il est désormais possible d'appliquer la méthode le plus fidèlement possible au développement du calculateur. Il est également important de rappeler que cette méthode vise principalement les entreprises dans un tout autre contexte que celui-ci. Elle doit donc être adaptée pour ce projet.

3.4.1 Cadrage et identification des sources et émissions

Périmètre organisationnel

Dans le contexte individuel, le périmètre organisationnel peut être redéfini en tant que sphère d'influence directe de la personne. Ce périmètre a été largement débattu avec 3 des 5 professeurs prenant parti au projet. Il est ressorti de ce débat que le périmètre organisationnel d'un élève s'articule autour de ces 5 points globaux :

- Le fonctionnement de l'école
- Ses déplacements pour l'école et à l'école
- Sa consommation à l'école
- Toutes les émissions liées à son domicile
- Ses activités personnelles et sa consommation à la maison

C'est d'ailleurs de cette façon qu'ont ensuite été subdivisés les 6 modules disponibles du site de l'AWAC dont le premier a été utilisé pour demander des informations générales à l'élève et l'impliquer personnellement dans le questionnaire. La Figure 3.5 montre la répartition des modules et des sous-modules du questionnaire. Trois modules concernent l'école. Le premier aborde tout le fonctionnement de l'école tandis que les deux suivants s'intéressent à la vie de l'élève dans le cadre scolaire incluant ses déplacements, son alimentation et ses achats pour l'école. Les deux derniers modules traitent de la vie privée de l'élève en dehors de l'école. Le module *Domicile* prend en compte toutes les émissions liées au cadre familiale, tandis que le module *Activités personnelles* est axé sur les activités sur lesquels il a une influence directe et personnelle, comme les déplacements personnels, les achats et la consommation.

Il a été question à un moment dans ce débat de n'envisager d'inclure dans le périmètre organisationnel de l'élève que les aspects de la vie de l'élève qui soient en lien direct avec

Mon empreinte carbone	Ecole	Déplacements pour l'école	Consommation à l'école	Domicile	Activités personnelles
Questions générales	Questions générales	Trajets domicile-école	Alimentation	Questions générales	Déplacements personnels
	Infrastructure	Voyages scolaires	Matériel scolaire	Construction	Vacances
	Energie	Sorties scolaires		Chauffage et climatisation	Technologie et numérique
	Déplacements employés			Electricité et eau chaude	Textile
	Achats			Alimentation	Hygiène
	Déchets			Equiperment	
				Déchets	

Figure 3.5 – Répartition des modules et des sous-modules.

l'école. Partir du principe qu'un élève ne peut réellement agir et se sentir concerné que par l'environnement scolaire était en réalité une fausse bonne idée. En effet, même si l'élève dépend en grande partie de ses parents dans ses émissions pour les voyages familiaux ou le chauffage et la consommation d'électricité à la maison par exemple. Il a tout de même souvent son mot à dire pour certains aspects de la sphère privée. La réelle empreinte carbone de l'élève aurait été sous-évaluée vu la restriction de ce périmètre organisationnel envisagé.

Effectivement, un adolescent de 15 à 18 ans peut être indépendant sur plusieurs aspects en dehors de l'école : ses activités personnelles, son alimentation, des potentiels voyages sans les parents, ses achats de vêtements, sa consommation d'eau chaude, du numérique ou des technologies, etc. Cependant, inclure ces aspects de la sphère privée et familiale dans le questionnaire pourrait engendrer des comparaisons et de potentielles moqueries en classe. En poussant ce souci à l'extrême, il est possible d'imaginer une comparaison entre un élève qui part quatre fois au bout du monde en voyage et qui vit dans une maison de 400 m² par rapport à un élève qui ne part pas en voyage et qui vit dans un petit appartement avec ses nombreux frères et sœurs. Des conséquences sociales peuvent alors survenir si les élèves de la classe ne sont pas encore assez matures. Il a cependant été jugé que ces aspects de la vie des élèves devaient être pris en compte malgré le risque de comparaisons avec les autres.

Par ailleurs, ne pas inclure le fonctionnement de l'école (reprenant la consommation énergétique, les trajets des employés ou encore les équipements dans les bâtiments) a également été envisagé car l'élève n'a que très peu de pouvoir de décision et d'impact sur ces aspects de l'école. Cependant, vu le contexte dans lequel ils utilisent le calculateur, c'est-à-dire en classe, il a semblé intéressant d'inclure celui-ci au périmètre organisationnel en justifiant cela par le fait que l'école sert à l'éducation des élèves et donc, une part des émissions de l'école revient à chaque élève. Il peut même être également intéressant pour l'école de connaître ses émissions grâce à ce module *Ecole* sans oublier qu'elle doit rajouter à celles-ci les déplacements des élèves liés à l'école ainsi que leur consommation pour avoir une empreinte carbone assez complète. Cela sort cependant du cadre du mémoire.

D'autre part, une empreinte carbone se calcule toujours, selon la méthode *Bilan Carbone*, sur une année civile complète. Cependant, le rythme des élèves du secondaire diffère considérablement de celui des individus en activité professionnelle ou des entreprises. Leur calendrier est plutôt marqué par l'année scolaire, caractérisée par des périodes d'école entrecoupées par des vacances saisonnières. C'est pourquoi est également ressorti de ce débat avec les professeurs que le bilan annuel de l'élève devait se faire sur l'année scolaire en cours. Il doit alors estimer de temps à autre certaines activités ou événements qui ne se sont pas encore produits. Néanmoins, l'élève a en général une connaissance assez précise de ses habitudes annuelles.

Pour résumer, il a donc finalement été décidé de garder un maximum des aspects de la vie de l'élève dans son périmètre organisationnel, comme montré à la Figure 3.5 et d'établir l'empreinte carbone de l'élève sur l'année scolaire en cours. Prendre un périmètre organisationnel aussi large que celui présenté ci-dessus engendrera un questionnaire sûrement plus long que les précédents de l'AWAC car toute la vie à l'école est prise en compte contrairement au *calculateur Étudiant* où le bilan de l'enseignement supérieur n'est pas pris en compte ou encore au *calculateur individuel* où le cadre professionnel n'est pas non plus inclus au périmètre de l'individu. Cela a aussi été discuté avec les professeurs lors du débat. Il en est également ressorti que chaque professeur devait avoir la possibilité de réaliser les modules qu'il souhaitait avec ses élèves si le temps de réponse pour tous les modules était trop long, tout en suggérant aux élèves de faire les autres modules à la maison pour ceux que cela intéresse. Une manière de réduire le temps de réponse est de limiter l'étendue du périmètre de déclaration.

Périmètre opérationnel et de déclaration

De fait, toutes les émissions de GES entrant dans le périmètre organisationnel ont d'abord été prises en compte, ce qui a défini le périmètre opérationnel. De ce périmètre ont été enlevées les émissions jugées non significatives tel que le décrit la méthode *Bilan Carbone* afin de ne présenter dans le questionnaire que le périmètre de déclaration. Cependant, vu le contexte d'un calculateur en ligne pour élève, les critères pour supprimer certaines des émissions indirectes significatives ne sont pas aussi rigoureux que ceux de la méthode. D'une part, vu que le créateur de l'outil n'a pas accès aux données des utilisateurs, il est simplement possible d'estimer un ordre de grandeur pour chaque émission. D'autre part, l'aspect sensibilisation entre également en jeu dans ce contexte précis. En effet, les émissions de GES dues à l'utilisation des réseaux sociaux ou de la consommation de musique, par exemple, ne représentent finalement pas grand-chose dans l'empreinte totale d'un élève. Cependant, il est intéressant de faire comprendre à l'élève que même ces activités-là émettent des GES. C'est pourquoi ce n'est pas seulement la valeur chiffrée de l'émission qui importe mais également la portée de sensibilisation qu'elle peut

engendrer sur les élèves. La facilité d’accès aux données a aussi été un critère prépondérant dans les décisions quant au périmètre de déclaration, c’est-à-dire toutes les émissions présentées dans le calculateur.

Les Tableaux 3.6 et 3.7 ci-dessous reprennent le périmètre opérationnel de l’élève et montrent ce qui a été gardé dans le périmètre de déclaration selon les 22 postes d’émissions de la méthode *Bilan Carbone*.

CATÉGORIE	POSTE	PÉRIMÈTRE DE DÉCLARATION	SOURCES D'ÉMISSIONS
1. Émissions directes de GES	1.1 Sources fixes de combustion	OUI	• Chauffage école et lieu de vie si par combustion • Eau chaude école et lieu de vie si par combustion • Eau chaude sanitaire lieu de vie si par combustion
		NON	• Eau chaude cuisine lieu de vie si par combustion • Cuisinière au gaz
	1.2 Sources mobiles de combustion	OUI	• Combustions liées aux déplacements
		NON	• Combustions liées à des activités : jetski, motocross...
	1.3 Procédés hors énergie	Pas applicable aux individus	
	1.4 Fugitives	OUI	• Climatisation à l'école et au domicile • Déchets organiques si compost à l'école ou au domicile
		NON	• Frigos et congélateurs à l'école et au domicile • Frigos et congélateurs à la maison (on peut considérer pas de pertes) • Engrais si potager école ou domicile
	1.5 Issues de la biomasse (sols et forêts)	OUI	/
NON		• Transformation du sol pour la création de l'école	
2. Émissions indirectes associées à l'énergie	2.1 Liées à la consommation d'électricité	OUI	• Consommation école et domicile • Production PV et fraction autoconsommée à l'école
		NON	• Production PV et fraction autoconsommée au domicile
	2.2 Liées à la consommation d'énergie autre que l'électricité	OUI	/
		NON	• Panneaux PV thermiques
3. Émissions indirectes associées au transport	3.1 Transport de marchandise amont	OUI	• Transport des achats et équipements
		NON	• Transport de marchandise de la cantine de l'école
	3.2 Transport de marchandise aval	L'élève est considéré comme consommateur final	
	3.3 Déplacements domicile-travail	OUI	• Déplacement domicile-école • Déplacement domicile-travail employés de l'école
		NON	/
	3.4 Déplacements des visiteurs et des clients	OUI	/
		NON	• Déplacements des intervenants extérieurs dans l'école
	3.5 Déplacements professionnels	OUI	• Déplacements voyages scolaires • Déplacements sorties scolaires • Déplacements cours de sport • Déplacements vacances • Déplacements personnels hebdomadaires • Déplacements pour les courses du domicile
NON		• Déplacements professionnels de la direction • Déplacements des accompagnants en voyage scolaire • Déplacements des accompagnants en sortie scolaire	

Figure 3.6 – Première partie du périmètre opérationnel et de déclaration selon les 22 postes de la méthode *Bilan Carbone*.

3.4.2 Calcul du bilan

La méthode d’évaluation des émissions utilisée pour tout le calculateur est la méthode de calcul, expliquée à la sous-section 3.1.3. La méthode de mesurage est en fait inappropriée pour des particuliers, et encore moins pour des élèves. Les données d’activité sont encodées dans le questionnaire par l’utilisateur et sont multipliées par les FE, qui y sont associés, encodés dans le

CATÉGORIE	POSTE	PÉRIMÈTRE DE DÉCLARATION	SOURCES D'ÉMISSIONS
4. Émissions indirectes associées aux produits achetés	4.1 Achats de biens	OUI	- Fabrication Panneaux PV école - Mobilier école - Équipement informatique école - Ramettes de papier école - Matériel cours de sport école - Alimentation à l'école - Matériel scolaire de l'élève - Alimentation domicile - Mobilier domicile - Équipement informatique et électroménager domicile - Équipement technologique personnel - Utilisation du numérique personnel - Textiles - Hygiène et cosmétiques
		NON	- Équipement pour leurs activités/vacances... - Type de courses : vrac, local, non surgelé... - Eau du réseau école et domicile - Tableaux, stiffs etc... à l'école - Électroménager école
	4.2 Immobilisations de biens	OUI	- Infrastructure école - Construction domicile
		NON	Propriété secondaire des parents
	4.3 Gestion des déchets	OUI	- Déchets usuels école - Déchets usuels lieu de vie
		NON	Fin de vie de tous les achats de biens pas dans les déchets
	4.4 Actifs en leasing amont	OUI	Domicile considéré comme bien car ce n'est pas la possession de l'élève
		NON	/
	4.5 Achats de services	OUI	/
		NON	- Banque, investissement, épargnes - Utilisation du territoire/ des voiries - Hôpitaux - RDV médicaux - Armée - Infrastructure TELECOM - Infrastructure des activités - Infrastructure des lieux de vacances
5. Émissions indirectes associées aux produits vendus	5.1 Utilisation des produits vendus	L'élève est considéré comme consommateur final	
	5.2 Actifs en leasing aval	L'élève est considéré comme consommateur final	
	5.3 Fin de vie des produits vendus	L'élève est considéré comme consommateur final	
	5.4 Investissements	L'élève est considéré comme consommateur final	
6. Autres émissions indirectes	6.1 Autres émissions indirectes	Pas d'autres émissions indirectes	

Figure 3.7 – Deuxième partie du périmètre opérationnel et de déclaration selon les 22 postes de la méthode *Bilan Carbone*.

système. Souvent, il faut adapter la formule à l'activité en question pour convertir la valeur vers les unités correctes du FE ou pour partager des émissions dues à un ensemble de personnes et non à l'élève seul qui complète le questionnaire. Ces formules sont directement encodées dans le système sans que l'utilisateur n'y ait accès. Elles sont toutes développées dans la Section 3.5 ou dans l'Annexe A.

Facteurs d'émission

Les FE permettent de convertir les données en poids équivalent CO₂. La plupart des FE utilisés dans le calculateur pour élèves proviennent de la base de données de l'ADEME [43], qui est une référence dans le domaine [44]. Comme le justifie l'ADEME sur son site, ces facteurs proviennent d'études de type ACV, de revues bibliographiques, de contributions par des tiers, de programmes nationaux, etc. Avant leur publication, ils ont été validés par un comité d'usagers et de scientifiques. Chaque FE comporte néanmoins une part d'incertitude inévitable due à la complexité de mesure de ces GES, entre autres. Cette incertitude peut aller de 5% à 80% ou même plus encore [45]. Ces facteurs représentent des produits types et ne sont pas toujours adaptés à la population visée. Un FE pour la consommation d'un kWh d'électricité moyen sur le sol français peut en réalité avoir une valeur bien différente de celle d'un kWh d'électricité moyen en Belgique, en Allemagne ou en Chine. Heureusement, l'ADEME fournit des FE par pays pour l'électricité. Cependant, la façon de produire cette électricité évolue aussi avec les années. Un FE évalué en 2018 sera différent de celui évalué en 2023. Ces exemples non exhaustifs montrent d'où peuvent potentiellement provenir ces incertitudes. C'est pourquoi il faut rester vigilant quant à l'utilisation des FE. Les ordres de grandeur sont néanmoins la plupart du temps assez représentatifs de la réalité.

3.5 Questions et conversions

Cette section présente tous les points clés et éléments jugés pertinents d'aborder dans le texte principal quant aux questions du calculateur ainsi que certains calculs, hypothèses, estimations ou facteurs d'émission. Un descriptif de tout le questionnaire détaillé de manière exhaustive, module par module et sous-module par sous-module, est disponible à l'annexe A. Cette partie est primordiale car elle permet de comprendre la face cachée de l'iceberg qu'est le questionnaire. En effet, derrière le calculateur simplifié, il y a énormément de choix et d'hypothèses que l'utilisateur non confirmé ne soupçonne pas. Ces choix et hypothèses se doivent d'être justifiés afin que d'une part, des experts puissent valider la robustesse du calculateur et que d'autre part, n'importe quel utilisateur puisse comprendre, s'il le souhaite, comment est calculée son empreinte carbone.

Par ailleurs, le questionnaire reprend beaucoup de questions, d'hypothèses et de méthodes de calcul des trois calculateurs existants de l'AWAC [37] ainsi que du *calculateur Étudiant* [38, 41]. C'est, entre autres, pour garder une certaine cohérence et consistance entre les calculateurs de l'AWAC.

3.5.1 Questions générales

Le premier module commence par demander les informations générales de l'élève : son nom, son année d'étude et demande pour quelle année scolaire l'élève fait son bilan carbone. Ces informations n'impactent évidemment pas les résultats et servent principalement à impliquer l'utilisateur en rendant le questionnaire plus personnel. Le choix de l'année scolaire permet également de faire comprendre à l'élève que le bilan carbone qu'il s'apprête à effectuer se fera sur l'année scolaire en cours et qu'il devra sûrement poser des hypothèses sur ses activités futures. La question de la temporalité a déjà été expliquée dans la sous-section 3.4.1.

3.5.2 École

Le module *École* est consacré au fonctionnement de l'école. L'école rentre dans le périmètre organisationnel de l'élève car c'est sa "vie active", c'est là qu'il passe une bonne partie de son temps. Ce module reprend toutes les émissions non liées aux choix personnels de l'élève. Le raisonnement est le suivant. L'élève fait partie intégrante de l'école qui sert essentiellement à éduquer les élèves. L'école émet des émissions de GES donc une partie de ces émissions, malgré le manque de pouvoir d'action de l'élève sur celles-ci, rentre dans son empreinte carbone. Pour ce module, ce sont les professeurs qui récoltent les données auprès des écoles. celles-ci peuvent

différer grandement entre-elles. C'est pourquoi ce module se veut être le plus générique possible, en prenant un maximum en compte toutes les possibles caractéristiques de chaque école.

3.5.3 Infrastructure

École

En ce qui concerne l'infrastructure de l'école, l'utilisateur saisit les données relatives à la surface des bâtiments, des parkings, de la cour, des terrains de sport, ainsi que des préaux. Il a également la possibilité d'indiquer la matière constituant le préau, illustrant ainsi la précision de l'outil et son adaptabilité à une vaste gamme d'établissements scolaires. Les FE de la construction prennent en compte la fabrication des matériaux, leur transport ainsi que la consommation de carburants sur le chantier.

Les élèves d'une seule année ne peuvent supporter le poids de la construction de l'école à eux seuls. C'est pourquoi la méthode *Bilan Carbone* propose de considérer la construction des bâtiments par rapport à leur amortissement si le bâtiment n'est pas déjà amorti [46]. L'amortissement des bâtiments d'une école est d'environ 50 ans [47]. Pour simplifier le questionnaire, on considère les émissions de toutes les écoles par rapport à un amortissement de 50 ans. Chaque émission de construction (surface considérée multipliée par le FE en question) est alors divisée par le nombre d'élèves et par 50.

Domicile

Si l'élève vit dans plusieurs domiciles, comme cela peut être le cas pour des élèves de parents divorcés par exemple, un texte explicatif est affiché pour qu'il sache comment compléter le questionnaire. Il lui est suggéré de se baser sur un seul des domiciles et ensuite, s'il le désire, de comparer en remplissant les données de son autre domicile grâce au *mode action* en fin de questionnaire.

L'utilisateur a ensuite le choix entre une maison ou un appartement. Il qualifie après sa maison ou son appartement de "petit(e)", "moyen(ne)" ou "grand(e)". Cela permet aux élèves qui ne connaissent souvent pas la surface de leur habitation de pouvoir prendre en compte la construction de leur habitation. La surface en fonction du type de logement est estimée à partir de la surface moyenne des logements en Belgique : 67 m² pour un appartement et 120 m² pour une maison [48]. Un facteur de 0.75 a été appliqué par rapport à la moyenne pour estimer la surface d'un "petit" logement. Un facteur de 1.25 a été appliqué pour la surface d'un "grand" logement. Les estimations de surface en fonction de la réponse de l'élève se trouvent sur le

Tableau 3.1.

Table 3.1 – Surface estimée du logement selon le type de logement et le choix de taille subjective de l'élève.

Taille du logement	Surface estimée du logement [m ²]	
	appartement	maison
petit	50	90
moyen	67	120
grand	85	150

L'amortissement du logement est supposé à 30 ans [49], c'est une hypothèse assez forte de considérer un amortissement constant pour tous les logements. Un *mode avancé* est également disponible si l'utilisateur connaît la réelle surface de son logement ou s'il veut changer la durée d'amortissement de ses émissions dues à la construction de son domicile. Ces émissions sont évidemment partagées entre tous les habitants du domicile.

3.5.4 Énergie

L'Énergie reprend le chauffage du bâtiment, le chauffage de l'eau, la consommation d'électricité, l'utilisation d'une climatisation ou encore de panneaux solaires.

École

Pour l'école, l'utilisateur a le choix de rentrer plusieurs données pour la consommation d'énergie de l'école : consommation d'électricité (kWh), de gaz (kWh), de mazout (litres), de bois-pellets (m³ ou kWh) ou de bois-plaquettes (m³ ou kWh).

Le choix de demander tout ce qui concerne l'énergie en consommation brute est justifié par le fait que le professeur recueillant ces données a le temps de préparer les données qu'il communiquera aux élèves et que ces données sont, dans la plupart des cas, accessibles sur les factures que détient l'économe ou le comptable de l'école. Ces données sont en général assez précises et reprennent la globalité de l'utilisation d'énergie sans prêter attention au type d'appareil utilisé et à sa fonction. Le nombre de combustibles ou de possibilités d'utiliser l'énergie ainsi que la possibilité de rentrer la donnée dans diverses unités illustrent encore la précision de l'outil et son adaptabilité à une vaste gamme d'établissements scolaires.

Pour la consommation d'électricité du réseau, la donnée est accessible grâce aux factures ou au compteur de l'école et le FE de la consommation d'électricité moyenne belge par kWh est utilisé. Cependant, si l'école possède des panneaux solaires, seule l'autoconsommation de

l’école par rapport à la production totale des panneaux est prise en compte. En effet, les panneaux de l’école produisent une certaine quantité d’électricité. L’école n’en consomme qu’une partie et le reste est redistribuée sur le réseau. Cette partie redistribuée n’entre pas en compte dans le périmètre de l’école et donc dans le périmètre de l’élève.

L’école ne connaît pas toujours le pourcentage d’autoconsommation de son électricité produite grâce aux panneaux. C’est pourquoi une valeur par défaut a été estimée si elle ne le connaît pas : 25%. La Wallonie estime la fraction autoconsommée des ménages à 37.76% [50]. Les écoles, contrairement aux ménages, sont occupées - et donc consomment - pendant la journée, au même moment que la production d’électricité par les panneaux solaires. Il est alors facile de croire que la fraction autoconsommée de l’école est supérieure à celles des ménages. Cependant, il n’y a finalement que 182 jours d’école soit un peu moins de 50% du total de l’année. La fraction autoconsommée, vu le taux d’occupation, est donc fortement diminuée. Cette diminution est renforcée par le fait que le pic de production des panneaux a lieu en juillet et en août, période à laquelle l’école est inoccupée. C’est pourquoi il a été jugé cohérent d’estimer la fraction autoconsommée des écoles à 25%. Cette valeur reste cependant très approximative.

Les pertes fugitives dues à la climatisation sont prises en compte à partir de la surface des espaces climatisés de l’école. Selon l’ADEME [51], il faut 9 kg de fluide frigorigène pour un système standard air-air, avec un taux de perte annuel de 10%. 25 m² de climatisation nécessite un système standard air-air [52]. On considère un fluide frigorigène typique : du 410A. Cela donne un FE de $9 \text{ [kg de 410A]} \cdot 0.1[-] 25\text{m}^2 \cdot 1924000 \text{ [gCO}_2\text{-eq/kg de 410A]} = 69264 \text{ gCO}_2\text{-eq/m}^2$. De plus, deux bulles infomode permettent à l’utilisateur de comprendre ce qui est pris en compte dans les questions sur les panneaux solaires et la climatisation.

Domicile

Ces données brutes ne peuvent pas être demandées pour la consommation d’énergie du domicile de l’élève. En effet, il n’y a pas accès directement s’il est en classe et même s’il complète le questionnaire chez lui, ces données ne sont pas forcément évidentes à obtenir. C’est pourquoi l’utilisation de l’énergie a été séparée en quatre façons de l’utiliser à la maison : le chauffage du bâtiment, l’eau chaude sanitaire, la climatisation et la consommation d’électricité.

Le chauffage du domicile se base sur le même modèle que le *calculateur individuel* [37]. Les informations demandées sont le type de chauffage, la température souhaitée le jour, la température souhaitée la nuit, le nombre de façades de la maison et le niveau d’isolation. Ces informations restent à priori assez accessibles à l’élève. Le modèle se base sur une estimation de la consommation énergétique pour le chauffage en fonction de la surface du logement, des dé-

perditions de chaleur en fonction du nombre de façades ou de l'isolation et de la température souhaitée. Plus de détails sur ce modèle sont à l'annexe A.

L'eau chaude sanitaire prise en compte est seulement celle utilisée pour les douches et les bains de l'utilisateur seul. L'eau chaude des éviers n'est donc pas prise en compte car la quantité de celle-ci est compliquée à estimer et est considérée comme marginale par rapport aux douches et aux bains. 80% de l'eau chaude sanitaire serait consommée dans les salles de bain contre 20% pour la cuisine [53]. Pour estimer les émissions de GES dues au chauffage de l'eau sanitaire, il faut avoir le volume d'eau à chauffer, la quantité de kWh thermique que ce volume d'eau demande et un FE associé au type de chauffage de cette eau. Le nombre de courtes douches, longues douches et de petits ou grands bains permettent d'estimer le volume d'eau utilisé par l'élève par semaine, ce volume est ensuite ramené par année en le multipliant par cinquante-deux. Il faut 1.162 Wh par degré et par litre pour chauffer de l'eau [54]. De plus l'eau chaude sanitaire est généralement chauffée à 60°C et l'eau à température ambiante est de 15°C [54]. La quantité d'énergie en kWh thermique par litre est donc de $45 [^{\circ}\text{C}] \cdot 1.162 [\text{Wh}/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{litre})] = 52.29 \text{ Wh/litre}$. On obtient donc l'énergie demandée pour le chauffage du volume d'eau total de l'année. A cela doit être ajouté le rendement de la chaudière utilisée pour obtenir l'énergie primaire totale consommée. Ces rendements sont repris sur le Tableau 3.2.

Table 3.2 – Rendements des chaudières. (1) Les rendements des chaudières à bois dépendent de nombreux paramètres, un rendement de 80% est une valeur acceptable.

Type de chaudière	Rendement [%]
chaudière au gaz [55]	90
chaudière au mazout [56]	90
chaudière au bois ⁽¹⁾ [57]	80

Pour l'électricité, l'élève peut estimer la consommation en électricité de son logement comme "petite", "normale" ou "grande" avec un ordre de grandeur en kWh proposé à côté de cette estimation. Une consommation "petite" est supposée être en dessous de 2000 kWh/an et est estimée par le système à 1500 kWh/an. Une consommation "normale" est supposée être entre 2000 kWh/an et 3500 kWh/an et est estimée par le système à 2750 kWh/an. Une consommation "grande" est supposée être au-dessus de 3500 kWh/an et est estimée par le système à 4000 kWh/an. L'utilisateur a la possibilité de remplir lui-même les valeurs plus précises de consommation d'électricité s'il a accès à ces valeurs via le compteur électrique.

La climatisation est quant à elle demandée de la même façon que pour l'école. La consommation d'électricité via des panneaux solaires n'est cependant pas demandée pour le domicile car l'accès à ces données pour l'élève est très compliqué. Il pourrait être envisageable de de-

mander à l’élève d’estimer la surface de ses panneaux et de poser de grosses hypothèses sur la production du panneau d’une part et d’autre part sur l’autoconsommation de cette production. Cela alourdit le questionnaire pour beaucoup d’incertitudes, d’hypothèses et d’estimations. Une bulle *infomode* est cependant disponible si l’élève veut comprendre pourquoi les panneaux solaires ne sont pas pris en compte.

3.5.5 Déplacements

Les déplacements pris en compte dans le périmètre de déclaration de l’élève sont les déplacements domicile-travail des employés de l’école, les déplacements domicile-école de l’élève, ses voyages scolaires, ses sorties scolaires, les déplacements pour les courses de son domicile, ses vacances personnelles et ses déplacements du quotidien pour ses diverses activités.

Les déplacements domicile-travail des employés sont effectivement pris en compte. Ces employés sont utiles au bon fonctionnement de l’école et comme expliqué à la sous-section 3.5.2, l’empreinte carbone de l’école est répartie entre chacun de ses élèves.

Tous les FE utilisés pour les déplacements sont des FE au km ou au km· passager pour les transports en commun. Ces FE prennent en compte la combustion du carburant, l’amont du carburant (ou de l’électricité) et la fabrication du véhicule. En effet, les élèves possèdent rarement un véhicule et il est donc plus cohérent de compter les émissions de la fabrication du véhicule par km réalisé dans ce véhicule.

Les distances en km sont parfois compliquées à estimer pour des élèves. C’est pourquoi il leur est proposé, pour les distances plus longues, d’estimer le temps de voyage - sans l’attente ni les pauses éventuelles - en heures. Ce temps est alors retransformé en distance par le système grâce à des hypothèses de vitesse moyenne des véhicules sur long trajet.

Les véhicules proposés la plupart du temps sont la voiture, la moto, le scooter, le train, le tram/métro, le bus, le vélo électrique ou la trottinette électrique. Dans certains sous-modules sont proposés également d’autres véhicules tels que l’avion, le TGV ou l’autocar. Le type de trajet influe sur la liste proposée de véhicule.

Si l’élève a une influence directe sur le trajet et qu’il effectue ce trajet en voiture, des précisions sont demandées sur la voiture tels que le type de voiture en fonction de sa taille, la motorisation de la voiture et le nombre de passagers dans la voiture. Un FE est alors attribué en fonction du type et de la motorisation de la voiture. Les émissions totales dues à ce déplacement sont alors divisées par le nombre de passagers utiles dans la voiture. Si l’élève n’a pas d’influence directe sur ce trajet, seul le nombre de passagers utiles est demandé. un FE moyen belge estimé à

partir du parc automobile belge et des FE des véhicules moyen par motorisation de l'ADEME est alors utilisé. Pour plus de précisions, toutes les émissions dues aux déplacements sont détaillées sous-module par sous-module dans l'annexe A.

3.5.6 Alimentation

Deux sous-modules reprennent l'alimentation de l'élève. D'une part, son alimentation à l'école et d'autre part, celle à la maison.

L'alimentation à l'école reprend tous ses repas du lundi, mardi, jeudi et vendredi midi ainsi que ses boissons, collations ou desserts bues ou mangées à l'école. L'élève renseigne le nombre de repas qu'il consomme en fonction du type de repas sur base d'une semaine type. Le système calcule alors l'équivalent sur l'année scolaire. Les types de repas du midi sont les suivants :

- pain avec de la charcuterie et/ou du fromage
- pain avec garniture végétale
- végétaliens (sans produits d'origine animale)
- végétariens 'léger' (sans chair animale mais avec des oeufs, un peu de fromage...)
- végétariens 'moyen', c'est-à-dire une quantité moyenne de produits animaliers (>150g fromage, > 3 oeufs...)
- repas avec une pièce de viande blanche (volaille, porc...)
- repas avec une pièce de viande rouge (boeuf, veau, agneau...)
- repas avec du poisson
- une barquette de frites ou une part de pizza

Ces 9 types de repas couvrent une large plage de repas et représentent assez bien ce que peut manger un élève à l'école. Les distinctions de ces repas sont faites en fonction des fortes différences d'émissions de GES que ces repas émettent. Par exemple, les repas carnés émettent largement plus que ceux non carnés, et parmi les carnés ceux avec une viande blanche émettent bien moins que ceux avec de la viande rouge.

L'alimentation à la maison reprend tous les déjeuners, tous les autres repas du midi ainsi que tous les repas du soir de l'élève. Les boissons chaudes et les softs sont également pris en compte. Les types de repas proposés sont les mêmes que ceux proposés pour le midi à l'école, à l'exception de la portion de frites ou de la part de pizza qui ne sont pas proposées pour les repas à la maison car c'est plutôt un repas de cantine.

Ce sous-module prend également en considération le gaspillage alimentaire, qui est très commun en Wallonie notamment [58]. Le gaspillage alimentaire est pris en compte en supposant un coefficient de consommation supplémentaire que ce que l’utilisateur mange, en fonction de son comportement et celui de ses cohabitants. L’ensemble des émissions dues à ses repas est donc multiplié par ce coefficient.

3.5.7 Équipement

Les équipements pris en compte sont les équipements de l’école, du domicile ou les équipements personnels de l’élève.

Les émissions de GES des équipements sont amorties sur une durée de vie moyenne par type d’équipement. En effet demander la durée de vie de chaque équipement alourdirait énormément le questionnaire. L’inconvénient principal de ce choix est que l’utilisateur doit estimer une durée de vie moyenne pour des équipements qui n’ont parfois pas du tout la même durée de vie. Par exemple, des barres parallèles n’ont pas la même durée de vie qu’un ballon de football. Ils sont pourtant dans la même catégorie d’équipement, celle des équipements sportifs de l’école.

Les équipements de l’école sont le mobilier, les équipements de bureautiques et technologiques ainsi que les équipements sportifs. Ceux du domicile sont le mobilier, les équipements technologiques ainsi que les électroménagers. Les équipements personnels de l’élève sont ses propres possessions tels que son smartphone, son ordinateur, sa console de jeu, etc. La formulation des phrases est très importante concernant ces équipements afin que l’élève ne compte pas un même équipement de son domicile deux fois. Par exemple, la console qu’il partage avec ses frères et sœurs qui se trouve dans le salon doit être comptée dans le module *Domicile* tandis que son propre baffle audio qu’il a reçu à Noël et qu’il est le seul à utiliser doit aller dans le module *Activités personnelles*.

3.5.8 Déchets

Les déchets sont ceux de l’école et du domicile. Les deux sous-modules liés aux déchets englobent la majorité des émissions de GES du processus de gestion des déchets, habituellement pris en charge par les services de ramassage et les recyparcs. Cela inclut les ordures ménagères, le verre, les papiers/cartons, les PMC et les déchets organiques.

Il est également intéressant d’observer que la valeur du FE au kg des ordures ménagères est plus faible que celles des FE du verre, des PMC ou des papiers/cartons. Cela est dû à la gestion de ces déchets et notamment aux véhicules de ramassage. Cela montre bien que le bilan

carbone est une méthode monocritère basée uniquement sur les émissions de GES. Cependant, lorsqu'on évoque les déchets, les analyses ont plus de sens lorsqu'elles sont multicritères.

Ecole

Il est supposé que chaque école trie ses déchets et les dispose dans des containers et donc qu'une donnée par rapport à chaque type de déchets est attendue. Les déchets, sauf les organiques, sont demandés en kilogramme, ce qui semblait à la base être l'unité figurant sur les factures de l'école. Cependant, les tests ont montré ensuite que ces données étaient plutôt en litres comme expliqué au Chapitre 4. Les déchets de bois et de métaux n'ont pas été demandés car les données sont trop compliquées à collecter. Les FE choisis sont ceux de fin de vie moyenne par kg et par type de déchets.

Le volume de déchets organiques est demandé s'ils ne sont pas mis avec les ordures ménagères. L'unité est donc en litres, ce qui correspond à l'unité de la facture s'ils sont collectés par un gestionnaire de déchets [59]. Dans le cas d'un compost, la demande en litres convient également. L'utilisateur peut avoir une vague idée du volume par an grâce aux correspondances avec des tailles de poubelle connues : 20 litres pour un petit container/petite poubelle composte et 10 litres pour un seau. Les FE sont en kg. Il y a environ 300g de déchets verts par litre [60], un facteur de 3/10 a donc été appliqué au calcul de poids carbone. Les FE des déchets organiques sont séparés en FE *compostage industriel* et en *compostage domestique* selon la façon de jeter ces déchets.

Domicile

Pour le domicile, l'élève peut choisir s'il effectue ou non le tri chez lui. En cas d'absence de tri, seuls les déchets ménagers sont requis, ce qui accélère le remplissage du questionnaire. Les déchets ne sont pas directement demandés en kg comme pour les déchets de l'école mais sont plutôt demandés en sacs ou en caisses, ce qui est plus facile à se représenter pour l'utilisateur. Il faut donc parvenir à ramener ces sacs ou caisses en kg afin de pouvoir utiliser les FE au kg. Cela se fait grâce à des hypothèses de volume et de densité pour chaque type de déchets. Ces hypothèses se trouvent sur le Tableau 3.3. Les déchets organiques sont pris en compte de la même façon que pour les déchets de l'école.

Cette section reprend tous les éléments clés et les plus pertinents pour le contenu principal de ce mémoire. Des explications beaucoup plus précises quant au questionnaire, aux calculs et aux choix sont disponibles à l'annexe A.

Table 3.3 – Hypothèses de densités et volumes par type de déchets. (1) vient de [61]. (2) vient de [60]. (3) vient de [62].

Type de déchets	Volume	Densité
sac d’ordures ménagères	50 ⁽¹⁾ l	0.3 ⁽²⁾ kg/l
sac de PMC	60 ⁽¹⁾ l	0.08 ⁽²⁾ kg/l
caisse de papier/carton	60 l	0.06 ⁽²⁾ kg/l
caisse de verre	12 bouteilles	0.25 ⁽³⁾ kg/bouteille
déchets organiques	-	0.3 ⁽²⁾ kg/l

3.6 Synthèse du chapitre

La création du calculateur d’empreinte carbone découle d’une exploration approfondie du concept même d’empreinte carbone. Ce chapitre a proposé une définition précise de ce terme, jetant ainsi les bases nécessaires pour comprendre pleinement l’importance environnementale du projet. La première étape a consisté à exposer les différentes méthodes de calcul de l’empreinte carbone, mettant en lumière la sélection stratégique de la méthode *Bilan Carbone* comme pivot central du projet.

Cette démarche a conduit naturellement à une présentation des calculateurs d’empreinte carbone existants, en mettant particulièrement l’accent sur ceux élaborés par l’AWAC, institution fondamentale pour ce projet éducatif. Ce projet, basé sur des calculateurs existants, a des objectifs pédagogiques bien définis, est réalisé dans un contexte bien précis et présente dès lors des limites et des contraintes spécifiques à la création de cet outil éducatif destiné aux élèves.

Ce chapitre s’est poursuivi en abordant l’adaptation pratique de la méthode *Bilan Carbone* à la réalité concrète du projet. Cela implique une collaboration avec des parties prenantes compétentes et une personnalisation minutieuse des catégories d’évaluation de la méthode *Bilan Carbone* pour répondre aux besoins spécifiques de sensibilisation des élèves. Ainsi, les domaines clés tels que l’école, l’infrastructure, l’énergie, les déplacements, l’alimentation, les équipements, et les déchets ont été détaillés, fournissant un cadre global pour évaluer l’empreinte carbone.

Finalement, ce chapitre a exposé les points clés de la réalisation technique du calculateur, détaillant les choix opérés et les hypothèses formulées au cours du processus de développement. Cette transparence est cruciale pour démontrer la crédibilité du calculateur. Ainsi, ce chapitre a offert une perspective complète, depuis la théorie jusqu’à la pratique, de la création du calculateur d’empreinte carbone.

Tests, résultats et discussions

Ce chapitre montre d'abord les résultats qu'un élève-type pourrait obtenir après remplissage complet du questionnaire, afin de les confronter à l'empreinte carbone moyenne belge. Il décrit ensuite comment se sont déroulés les tests du calculateur et expose les résultats de ceux-ci. Finalement, il propose une analyse critique de ces résultats et des perspectives d'amélioration du calculateur.

4.1 Analyse quantitative des résultats du calculateur : Profil-type d'un élève

Une analyse quantitative des résultats fournis par le calculateur, obtenus à partir d'un scénario complet où un élève-type hypothétique a rempli intégralement le questionnaire, vise à mettre en évidence les ordres de grandeur associés à l'empreinte carbone de ce profil fictif. Cette démarche permet d'évaluer la cohérence des résultats obtenus et de les confronter à l'empreinte moyenne belge. Plusieurs élèves-type auraient pu être créés. Cependant, un seul a été jugé suffisant pour rencontrer les objectifs de cette section.

4.1.1 Profil-type imaginé

L'élève-type imaginé irait dans une école secondaire de 1000 élèves dont la surface de bâtiment couvrirait 5000 m² et dont 60% des professeurs viendraient à l'école seuls en voiture. Pour la plupart de ses déplacements du quotidien, cet élève utiliserait une voiture appartenant à ses parents de type véhicule compact à motorisation essence. De plus, il partirait deux fois en week-ends en voiture et deux fois en vacances sur l'année avec ses parents dont une fois en avion et l'autre fois en voiture. Un voyage scolaire à Rome en avion est également prévu pour lui cette année. Son alimentation est très variée mais reste cependant assez carnée. Il mangerait 5 repas par semaine contenant de la viande blanche ou rouge. Par ailleurs, il vivrait avec ses parents et sa soeur dans une maison de grande taille peu isolée et chauffée au gaz. Il serait également assez férü de technologies, regarderait un peu moins de 2 heures de vidéos par jour et achèterait 10 vêtements par an.

Les Figures 4.1 et 4.2 montrent les réponses détaillées de cet élève fictif pour ses vacances et son alimentation à la maison et servent également à illustrer la façon dont le questionnaire est construit pour le lecteur n’ayant pas été voir le calculateur en lui-même ou l’annexe A.

Vacances

Concernant mes vacances familiales ou personnelles durant cette année scolaire (de septembre à août inclus) :

Je suis parti ou je vais partir **2** fois en Week-end et **2** fois en vacances.

> Pour le premier Week-end, nous faisons la majorité du trajet **en voiture** , **pendant** **2** heures (en comptant le temps de trajet aller, sans compter l'attente éventuelle dans les différentes plateformes).

La voiture principalement utilisée est **un véhicule compact (ex. Peugeot 308, Golf, Audi A3, BMW série 1...)** avec une motorisation **essence** et nous sommes **3** dedans.

> Pour le deuxième Week-end, nous faisons la majorité du trajet **en voiture** , **pendant** **2** heures (en comptant le temps de trajet aller, sans compter l'attente éventuelle dans les différentes plateformes).

La voiture principalement utilisée est **un véhicule compact (ex. Peugeot 308, Golf, Audi A3, BMW série 1...)** avec une motorisation **essence** et nous sommes **4** dedans.

> Pour les premières vacances, nous faisons la majorité du trajet **en avion** , **pendant** **2** heures (en comptant le temps de trajet aller, sans compter l'attente éventuelle dans les différentes plateformes).

> Pour les deuxièmes vacances, nous faisons la majorité du trajet **en voiture** , **sur une distance de** **900** km (aller).

La voiture principalement utilisée est **un véhicule compact (ex. Peugeot 308, Golf, Audi A3, BMW série 1...)** avec une motorisation **essence** et nous sommes **4** dedans.

> Next

Figure 4.1 – Réponses aux questions sur les vacances de l’élève fictif.

Alimentation

Le matin, pour mon petit déjeuner, je mange principalement **un petit déjeuner « continental » (pain, confiture, viennoiseries...)** .

Sur les 10 repas restants d'une semaine type (les 4 midis à l'école ont déjà été pris en compte, il reste donc 3 repas du midi du week-end et du mercredi et 7 repas du soir) : je mange

- > **2** fois du pain avec de la charcuterie et/ou du fromage,
- > **1** fois du pain avec garniture végétale,
- > **1** repas végétaliens (sans produits d'origine animale),
- > **1** repas végétariens 'léger' (sans chair animale mais avec des oeufs, un peu de fromage...),
- > -- repas végétariens 'moyen', c'est-à-dire une quantité moyenne de produits animaliers (>150g fromage, > 3 oeufs...),
- > **2** repas avec une pièce de viande blanche (volaille, porc...),
- > **2** repas avec une pièce de viande rouge (boeuf, veau, agneau...),
- > **1** repas avec du poisson,

et je saute 0 repas.

> Next

Figure 4.2 – Réponses aux questions sur l’alimentation à la maison de l’élève fictif.

4.1.2 Résultats

Les résultats affichés par le calculateur sont montrés à la Figure 4.3. Sur le calculateur en ligne, le nom de chaque sous-module est affiché en regard de chaque poids carbone si l'utilisateur clique dessus.

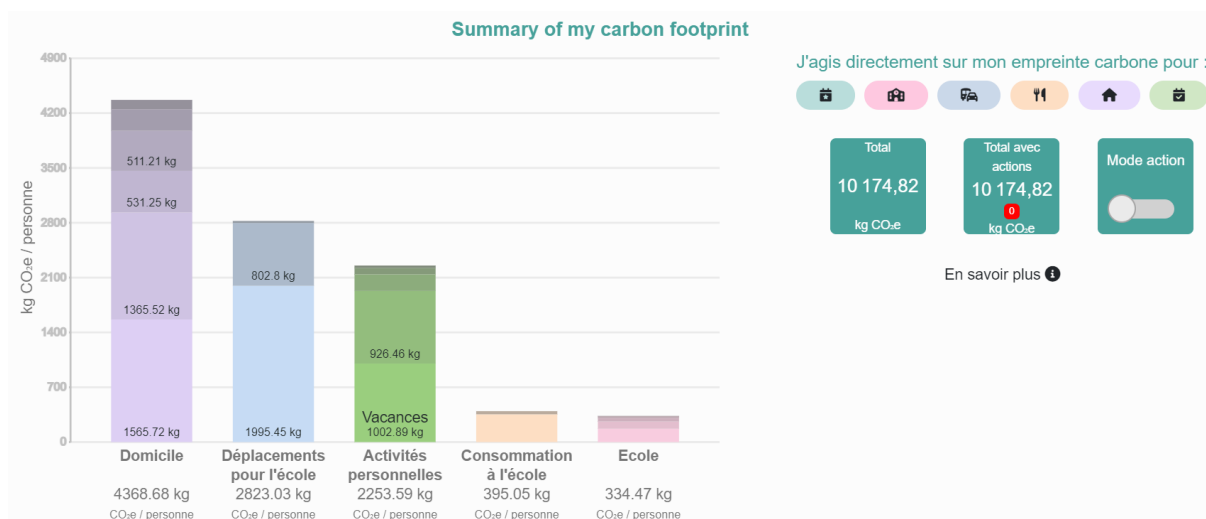


Figure 4.3 – Résultats de l’empreinte carbone de l’élève-type.

L’empreinte carbone de l’élève-type s’élève à 10.175 tCO₂-eq. Ses postes les plus émetteurs sont ses déplacements, son alimentation ainsi que le chauffage de sa maison.

L’ensemble de ses déplacements représentent 4.727 tCO₂-eq, soit presque la moitié du total. Ses déplacements les plus émetteurs sont ses trajets domicile-école qui représentent presque 2 tCO₂-eq. S’il covoiturait avec un ou deux autres élèves au lieu d’être conduit seul par un de ses parents, il pourrait diminuer par 2 ou par 3 ce nombre. Ses deux voyages en avion pèsent également fort dans le poids carbone de ses déplacements.

Par ailleurs, son alimentation représente en tout 1.92 tCO₂-eq regroupant son alimentation à l’école (354 kgCO₂-eq) et à la maison (1.566 tCO₂-eq). Cela est notamment dû à ses nombreux repas carnés.

Le chauffage de son logement représente 1.366 tCO₂-eq tandis que la construction de la maison amortie sur 30 ans représente un peu plus de 500 kgCO₂-eq, tout comme la consommation électrique et sa consommation d’eau chaude sanitaire réunies. Il ne faut pas oublier que cela représente bien son poids carbone individuel et pas celui de tous les habitants de sa maison.

Les émissions individuelles de l’élève pour le bon fonctionnement de l’école s’élèvent à 334 kgCO₂-eq, ce qui représente finalement 3% de ses émissions totales. L’école consomme et émet évidemment bien plus que la maison et que tous les autres postes. Cependant, vu qu’elle est utile à 1000 élèves, l’empreinte individuelle par élève reste faible pour ce module car toutes ces émissions sont divisées par le nombre d’élèves. Les postes les plus émetteurs pour ce module restent les transports des employés de l’école ainsi que le chauffage de celle-ci.

4.1.3 Mise en perspective quantitative des résultats par rapport aux moyennes belges

Comme évoqué à la sous-section 2.1.4, l’empreinte carbone moyenne belge annuelle est évaluée à 16 tCO₂-eq [17]. La répartition par poste de ces 16 tCO₂-eq est montrée sur le Tableau 4.1 ainsi que les résultats de l’élève fictif par poste équivalent.

Table 4.1 – Comparatif d’émissions par poste entre le belge moyen et l’élève fictif.

Postes d’émissions	Empreinte carbone moyenne [kgCO ₂ -eq]	Empreinte carbone de l’élève fictif [kgCO ₂ -eq]
Services publics, enseignement, etc.	3200	334
Alimentation et Horeca	2200 + 700 = 2900	1920 + 0 = 1920
Transport sur route	2800	3146
Chauffage, construction et rénovation	2600	1896
Achats de biens et de services	3600	760
Autres usages du logement	500	511
Transport par avion	500	1606
Total	16100	10175

Pour les services publics, l’empreinte carbone de l’élève fictif affichée par le calculateur est bien plus faible que celui du belge moyen. Cette tendance est expliquée par le fait que ces émissions ne sont pas prises dans le périmètre de déclaration des élèves comme évoqué précédemment aux Figures 3.6 et 3.7. Seul le fonctionnement de l’école est comptabilisée dans ce poste d’émissions. Les autres calculateurs de l’AWAC ne l’ont pas fait, ce calculateur reste dans la continuité des précédents. Il faudrait toutefois informer l’utilisateur que ce poste n’est que partiellement pris en compte avec le fonctionnement de l’école.

Concernant l’alimentation, la valeur annuelle d’émissions de l’élève fictif est proche en ordre de grandeur du Belge moyen. En plus de l’alimentation, le document source prend en compte la consommation de biens et de services de l’Horeca, ce que le calculateur ne fait pas.

Pour le transport sur route, l’élève-type imaginé émet un peu plus que le Belge moyen mais reste dans un ordre de grandeur similaire à celui-ci. Cependant, cet élève émet 3 fois plus concernant son transport en avion que le Belge moyen. Cela paraît assez cohérent car tous les Belges ne partent pas deux fois en avion par an [63].

Pour le chauffage, la construction et la rénovation, l’empreinte carbone annuelle de l’élève-type est réduite de près de 30% par rapport à celle du Belge moyen. Cette diminution s’explique par le fait que l’élève partage sa maison avec trois autres personnes, ce qui divise toutes les émissions liées à sa résidence par le nombre d’habitants. Malgré une faible isolation et l’utili-

sation du chauffage au gaz, son empreinte individuelle pour cette catégorie est inférieure à la moyenne, car la taille moyenne des ménages wallons est de 2,2 personnes [64].

Concernant les achats de biens et de services, Les émissions de l'élève sont plus de quatre fois plus faibles que les émissions belges moyennes. Il peut y avoir plusieurs explications. Premièrement, le document source prend sûrement beaucoup plus d'achats en compte que ne le prend le calculateur. Par exemple, il prend en compte les loisirs tandis que le calculateur ne le fait pas. Ensuite, quand bien même la source et le calculateur prennent le même bien en compte, les valeurs des FE peuvent différer. En effet, le document source évoque qu'un ordinateur fixe peut émettre jusqu'à 1 tCO₂-eq à la fabrication tandis que le calculateur l'estime à 169 kgCO₂-eq. Le document source publié en 2018 se base en réalité sur un FE archivé de l'ADEME. Finalement, un élève possède peut-être moins de biens et utilise moins de services qu'un adulte moyen. La différence de valeurs d'émissions pour ce poste peut donc s'expliquer, au moins en partie, par ces trois raisons.

Enfin, les valeurs d'émissions de l'élève pour les autres usages du logement, qui correspondent en grande partie à la production d'eau chaude et à la consommation d'électricité, sont similaires à celles du Belge moyen.

En résumé, l'empreinte carbone de l'élève-type, nettement inférieure à celle du Belge moyen, peut s'expliquer par l'omission de l'Horeca et d'une grande partie des services publics ainsi que par le grand nombre de personnes occupant son logement. De plus, une incertitude subsiste quant aux achats de biens et de services.

Cette section visait à mettre en avant les ordres de grandeur, la cohérence et la robustesse des résultats calculés par l'outil. Les suivantes s'attardent davantage sur les ressentis des professeurs et des élèves suite à des tests du calculateur réalisés en classe.

4.2 Méthodologie des tests

4.2.1 Préparation aux tests et intégration du calculateur dans un cours

L'utilisation du calculateur s'inscrit dans un certain contexte, comme cela a été évoqué à la sous-section 3.3.2. Il est utilisé en classe et le professeur est un intermédiaire entre l'outil et les utilisateurs : les élèves. Un guide explicatif du calculateur destiné aux professeurs a donc été créé afin de les accompagner quant à l'utilisation de cet outil dans leur cours et est disponible à l'annexe B.

La première partie de ce guide introduit le contexte et les objectifs de ce calculateur destiné aux élèves du secondaire. Il évoque également la structure du questionnaire, une explication de ce que contient chaque module ainsi qu'un temps théorique de remplissage pour chaque module. Le professeur peut dès lors choisir quels modules il effectuera avec ses élèves en fonction du temps qu'il veut consacrer au calculateur. La seconde partie du guide est consacrée à son utilisation en tant que telle. Il y est inscrit notamment que l'élève peut effectuer le test sur son smartphone, sur une tablette ou sur un ordinateur. Des conseils sur le remplissage du questionnaire sont disponibles également si certaines données sont moins accessibles. La navigation entre modules ainsi que l'affichage final des résultats et l'utilisation du *mode action* y sont développés aussi. De plus, une brève explication du respect du RGPD est proposée car il s'est avéré que plusieurs professeurs et directions d'école voulaient des preuves que l'outil le respecte.

La troisième section du guide propose un exemple d'explication préalable à l'utilisation du calculateur. Comme expliqué à la sous-section 2.2.2, le calcul d'empreinte carbone est une approche pédagogique participative qui s'inscrit dans une éducation climatique plus globale et transversale à l'école secondaire. Il est donc suggéré au professeur de prendre quelques minutes avant l'utilisation de l'outil pour résumer le réchauffement global, énoncer ses conséquences et sa cause principale : les émissions massives de GES d'origine anthropique. Il suggère également de rappeler que chaque individu doit atteindre une empreinte carbone environnant les 2 tCO₂-eq pour respecter les Accords de Paris [16] comme l'évoque la sous-section 2.1.4. Cela permet à l'élève d'avoir un ordre grandeur des objectifs européens remis en empreinte carbone par individu et de poser, s'il le souhaite, un objectif de diminution de ses émissions en rapport avec les résultats de son empreinte carbone actuelle. Le guide pour les professeurs expose ensuite une copie du texte explicatif proposé au début du questionnaire sur le site au cas où les élèves ou le professeur l'outrepassaient sans lecture. Finalement, un tableau reprend toutes les données ainsi que les unités que le professeur doit récolter s'il compte remplir le module *École* avec les élèves.

Le professeur peut dès lors, à l'aide de ce guide, préparer son cours de la meilleure des façons. Les professeurs prenant parti à ce projet ont donc eu accès à ce guide explicatif avant de procéder aux tests.

4.2.2 Classes participantes

Sur les cinq professeurs prenant parti au projet, seuls deux ont finalement eu l'occasion d'effectuer un test avec leurs élèves en raison de retard sur les plannings ou à cause d'examens des élèves au moment des potentiels tests. Parmi les 2 professeurs ayant fait le test, il y a un

professeur de géographie à l'institut Notre-Dame de Thuin ainsi qu'une professeure de sciences au Collège Saint-Etienne de Court-Saint-Etienne.

Le professeur de géographie a effectué le test dans deux classes différentes de géographie en cinquième secondaire. La première classe compte quatorze élèves tandis que la seconde en compte trente-quatre. La professeure de sciences a effectué le test dans une classe de sciences de treize élèves de sixième secondaire. Au total, soixante-et-un élèves répartis dans trois classes différentes ont donc participé au test.

4.2.3 Déroulement des tests

Le professeur de géographie a réalisé dans ses deux classes un test sur un seul cours de cinquante minutes. Les élèves de ces deux classes ont répondu à tous les modules, sauf le module *École*. Ce professeur, malgré toute sa bonne volonté, n'a pas réussi à récolter les données demandées pour l'école et a donc demandé à ses élèves de passer ce module. Chaque élève a complété le questionnaire de manière autonome et a tantôt estimé, tantôt chronométré le temps qu'il a pris pour chaque module complété. Les élèves n'ont pas eu le temps d'utiliser le *mode action*.

La professeure de sciences a réalisé dans sa classe de treize élèves un test sur une période d'une heure trente. Tous les modules ont été complétés. Après un bref résumé de la problématique du réchauffement global, une remise en contexte de cette problématique dans le contexte plus large des problèmes environnementaux et après avoir donné les ordres de grandeur principaux de l'empreinte carbone belge et des objectifs européens, les élèves se sont lancés dans le questionnaire. Le rythme était dicté par la professeure, chaque élève attendait que tout le monde ait fini le précédant module pour en entamer un nouveau. Pour le module *École*, la professeure a affiché les données grâce à un projecteur et tous les élèves remplissaient chaque donnée simultanément. Pour ce test, je fus présent afin d'avoir les meilleurs retours possibles, rendre compte du déroulement précis du test et aider la professeure à répondre aux questions des élèves. J'ai donc pu chronométrer le temps que prenait chaque module. Un seul temps a été mesuré pour la classe vu que chaque élève attendait le dernier pour entamer un nouveau module. Les élèves ont eu quelques minutes à la fin pour analyser leurs résultats. Ils n'ont pas eu le temps d'utiliser le *mode action* mais ont pris quelques minutes pour répondre à un questionnaire sur l'utilisation de l'outil afin d'avoir des retours de leur part.

4.2.4 Collecte des résultats des tests

Afin de collecter des informations et d'établir si le calculateur répond aux objectifs énoncés à la sous-section 3.3.1, un questionnaire a été proposé aux élèves à la fin du test afin de collecter des informations sur le temps de complétion du calculateur, l'accessibilité du vocabulaire et des données demandées ainsi que sur la potentielle sensibilisation de l'élève quant aux ordres de grandeurs de ses émissions, comment les diminuer, etc. Sur les soixante-et-un élèves testés, cinquante-sept ont répondu à ce questionnaire. Quatre élèves de la classe de treize élèves de Court-Saint-Etienne n'ont pas répondu. Un autre questionnaire¹, assez similaire, est proposé aux professeurs afin d'avoir leur point de vue sur l'outil, la participation et l'intérêt des élèves ainsi que leur potentielle sensibilisation. Les deux professeurs ont répondu à ce questionnaire.

4.3 Résultats des Tests

Cette section montre les résultats des questionnaires sur l'utilisation de l'outil complétés par les élèves et les professeurs ainsi qu'une synthèse et une analyse de ces résultats. Chaque sous-section reprend une question spécifique du questionnaire.

4.3.1 Temps de complétion

La première question traite du temps de complétion de chaque module. La question est posée de cette façon : "Quel a été le temps que vous avez mis pour réaliser les modules que vous avez faits?". Les élèves ont indiqué en regard de chaque module le temps qu'ils ont mis (ou estimé) pour le compléter. Les 9 élèves de la classe de Court-Saint-Etienne n'ont pas répondu à cette question car j'ai chronométré le temps de complétion pour eux. Les résultats sont montrés séparément pour les deux écoles, vu la façon différente dont s'est déroulé le test, comme expliqué à la sous-section 4.2.3.

Les résultats des quarante-huit répondant de l'école de Thuin sont d'abord montrés au Tableau 4.2. Le temps théorique de complétion par module basé sur le nombre de réponses à donner dans le questionnaire est d'abord exposé. Ensuite, un temps de complétion médian et moyen est affiché par module. La médiane est souvent préférée à la moyenne pour atténuer l'effet de valeurs extrêmes apparaissant aux extrémités de la distribution. Par exemple, un élève a indiqué avoir fait le premier module en quinze minutes, ce qui est extrême vu qu'il n'y a que deux questions et trois réponses attendues à ce module. Cependant, la moyenne est sensible aux

1. Les deux questionnaires sont réalisés grâce à l'outil *Google Forms* et sont disponibles aux liens suivants : "Questionnaire pour élèves" et "Questionnaire pour professeurs".

valeurs de toutes les données. Par exemple, les réponses de temps de complétion pour le module *Domicile* ne comportent pas de valeurs extrêmes. C'est pourquoi la moyenne est plus exhaustive dans ce cas.

Table 4.2 – Temps de complétion médian et moyen par module des quarante-huit élèves de l'école de Thuin.

Module	Temps théorique (min)	Médiane (min)	Moyenne (min)
Mon empreinte carbone	1	3	3.6
Déplacements pour l'école	4	5	5.6
Consommation à l'école	3	5	5.5
Domicile	10	6	7.5
Activités personnelles	8	6	6.6

Ces résultats sont à analyser avec un regard très critique car la plupart des répondants ont estimé le temps mis à chaque module sans le chronométrer. Ils ont parfois un rapport au temps assez faussé. Un élève a par exemple répondu pour les 4 derniers modules : 2 min, 3 min, 4 min et 3 min, ce qui est physiquement irréaliste car c'est trop court. Il y a également un nombre très élevé de réponses à 3 min et 5 min, peu importe le module. En y regardant d'un peu plus près, il s'avère que 5 élèves ont répondu 3 min à tous les modules et 11 élèves ont répondu 5 min à tous les modules, ce qui est irréaliste également. Les chiffres sont donc assez biaisés et la médiane et la moyenne tendent à se rapprocher de 5.

Le temps médian pour compléter le questionnaire, sans le module *École*, serait de 25 minutes et le temps moyen de 29 minutes. Le professeur de ces 2 classes a communiqué également un temps moyen estimé par élève : 1 min pour *Mon empreinte carbone*, 5 min pour *Déplacements pour l'école*, 5 min pour *Consommation à l'école*, 10 min pour *Domicile* et 10 min pour *Activités personnelles*. Ces valeurs se rapprochent plus des temps théoriques. Ce qui est réellement intéressant de noter quant au temps de complétion de ces 2 classes, c'est qu'ils ont réussi à effectuer 5 des 6 modules dans une séance de cours de 50 min, ont pu analyser pendant quelques minutes leurs résultats mais n'ont pas pu utiliser le *mode action*. Peut-être auraient-ils pu s'ils n'avaient pas dû répondre au questionnaire de retours en fin de séance. Pour ces deux classes, le temps de complétion est donc similaire aux attentes théoriques décrites dans le guide explicatif à l'annexe B : en une séance de 50 min, il est possible d'effectuer la plupart des modules et analyser les résultats. Faire tous les modules et utiliser le *mode action* demande plus de temps. Cependant, il serait peut-être préférable de pouvoir réaliser tout le questionnaire, d'analyser les résultats et d'utiliser le *mode action* pendant une seule séance de 50 min comme évoqué à la sous-section 3.3.3.

La classe de Court-Saint-Etienne a quant à elle mis une heure trente pour compléter tout

le questionnaire, analyser les résultats et répondre au questionnaire de retours de fin de séance. Les temps chronométrés par module pour l'ensemble de la classe sont affichés sur le Tableau 4.3. Il faut également ajouter à ces temps de complétion environ 20 minutes de mise en place, partage des liens, création des comptes et explications préalables au test ainsi que 10 minutes d'analyse des résultats et de réponse au sondage.

Table 4.3 – Temps de complétion de l'ensemble de la classe du Collège Saint-Etienne.

Module	Temps théorique (min)	Temps chronométré (min)
Mon empreinte carbone	1	3
École	10	11
Déplacements pour l'école	4	8
Consommation à l'école	3	6
Domicile	10	16
Activités personnelles	8	14

Ces temps représentent donc les temps de complétion des élèves "les plus lents". Les élèves de cette classe n'ont donc pas pu utiliser le *mode action* malgré le fait qu'ils aient eu 40 minutes de plus que la classe de Thuin. C'est sans aucun doute dû aux explications préalables à l'utilisation de l'outil ainsi qu'à la façon de fonctionner lors du remplissage. En effet, si chaque élève avait avancé individuellement dans le questionnaire, la plupart aurait largement eu le temps d'analyser les résultats et d'utiliser le *mode action*. Il est donc préférable de laisser avancer les élèves individuellement au lieu de fixer un rythme et d'attendre les retardataires à chaque module. Le test a donc, dans ce cas, été trop long. Réduire le nombre de questions du questionnaire peut être envisagé pour réduire le temps de complétion mais il ne faut pas non plus négliger la façon dont la classe ou chaque élève avance dans le questionnaire.

4.3.2 Accessibilité du vocabulaire

La question suivante aborde l'accessibilité du vocabulaire employé dans le questionnaire et est posée de cette façon : "Le vocabulaire utilisé vous semble-t-il accessible?". Les élèves doivent alors choisir une réponse parmi ces quatre propositions : "je n'ai rien compris", "je n'ai plutôt pas compris", "j'ai plutôt bien compris" et "j'ai tout compris". Les cinquante-sept élèves des 3 classes différentes ont répondu à cette question. Les résultats sont montrés à la Figure 4.4.

Tous les élèves, sauf un seul, ont plutôt bien compris ou ont tout compris au vocabulaire usité dans le questionnaire. Le vocabulaire est donc largement accessible aux élèves de fin de secondaire. L'objectif d'accessibilité du vocabulaire évoqué à la sous-section 3.3.1 est donc atteint. Cependant, 100% des élèves n'ont pas indiqué le choix "j'ai tout compris". Des améliorations sont donc toujours possibles. Les quelques commentaires des élèves en regard de cette question

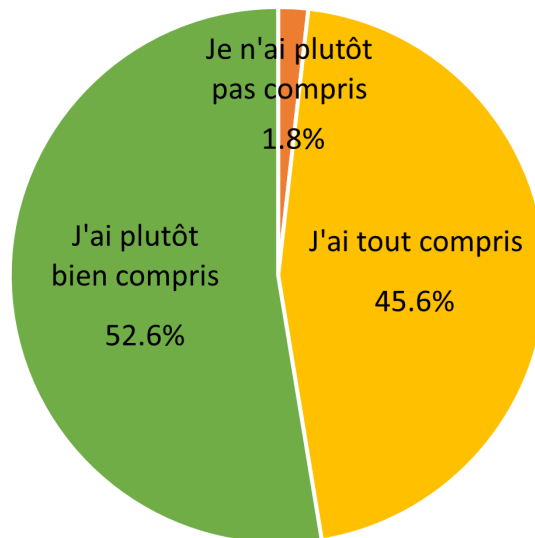


Figure 4.4 – Compréhension du vocabulaire.

évoquent notamment un manque de clarté au niveau du nombre de repas à inscrire et des catégories de repas, certains termes trop compliqués dans le module *Domicile* ou encore des phrases trop longues. L'élève ayant mis "je n'ai plutôt pas compris" évoque "un manque de précision" mais n'indique pas à quel niveau. Pour le nombre de repas, un seul élève n'a pas compris. Le nombre de repas est affiché au-dessus et le texte s'affiche en rouge si le nombre de repas inscrits n'est pas correct. Il aurait été intéressant de savoir la cause de sa mécompréhension. Pour les catégories de repas, cela pourrait être encore plus exhaustif en effet. Cependant, la liste deviendrait trop longue si chaque plat existant était disponible. Ajouter quelques types de plats usuels pourraient être envisageable. Un élève s'est par exemple retrouvé coincé en voulant inscrire qu'il mangeait une fois par semaine des pâtes à la bolognaise. Les catégories "pâtes avec garniture végétale" ou "pâtes avec une sauce contenant de la viande" pourraient par exemple être ajoutées dans les questions sur l'alimentation.

4.3.3 Accessibilité des données

La question suivante explore l'accessibilité des données demandées à l'élève et est posée de cette façon : "Les données demandées vous semblent-elles accessibles?". Les élèves doivent alors choisir une réponse parmi ces quatre propositions : "pas du tout d'accord", "plutôt pas d'accord", "plutôt d'accord" et "tout à fait d'accord". Les cinquante-sept élèves des 3 classes différentes ont répondu à cette question. Les résultats sont montrés à la Figure 4.5.

Un peu plus de trois quarts des élèves sont au moins plutôt d'accord avec le fait que les données sont accessibles. Il n'y a cependant que deux élèves qui sont tout à fait d'accord avec cette affirmation. Presque tous les élèves ne sont donc pas tout à fait satisfaits de l'accessibilité

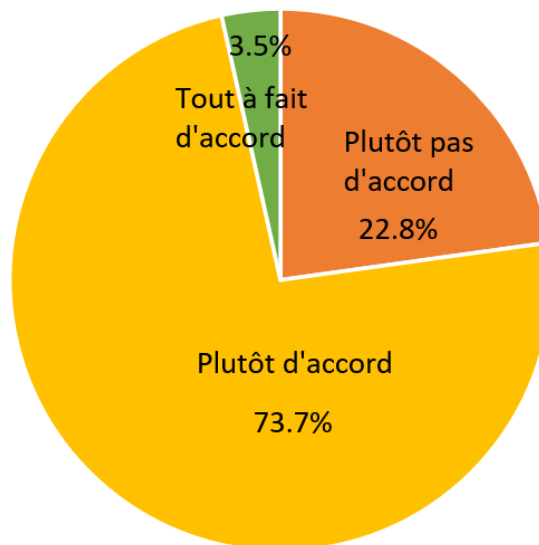


Figure 4.5 – Accessibilité des données demandées.

des données. L'objectif d'accessibilité des données demandées aux élèves est donc partiellement atteint. Il reste des points à améliorer. Par exemple, les deux points les plus cités par les élèves dans les commentaires en regard de cette question sont les données sur le domicile et sur les déplacements.

Pour le domicile, certains ont dû mal à estimer la taille de leur maison. Qualifier la maison de petite, moyenne ou grande n'est pas facile pour eux. Une estimation de la consommation électrique paraît compliquée également. D'autres évoquent ne pas savoir quel type de chauffage est utilisé dans leur maison. L'option "je ne sais pas" est pourtant dans les propositions de réponses et réfèrent aux valeurs du gaz comme évoqué à l'annexe A. Ils ne l'ont peut-être pas vu, sont mal à l'aise de ne pas savoir ou pensent que le "je ne sais pas" ne prendra pas en compte le poids carbone lié au chauffage. Par ailleurs, le nombre de meubles dans la maison, la durée de vie de ces meubles et le nombre de poubelles confiées au service de ramassage sont également des données qui posent problème à certains élèves. La température souhaitée chez eux en est une autre. Ils disent par exemple : "on ne gère pas toutes ces choses à la maison, donc les données sont compliquées à avoir". Il faudrait peut-être qu'ils aient le temps de préparer ces données à la maison car cela paraît assez compliqué de simplifier plus encore le questionnaire sur ces questions.

Pour les déplacements, les élèves évoquent d'abord beaucoup de difficultés à évaluer les distances. Pourtant, pour les voyages, un temps de trajet peut être noté à la place de la distance et vu qu'ils remplissent le questionnaire sur leur smartphone, une tablette ou un ordinateur, ils ont normalement accès à *Google Maps* et aux distances en quelques secondes. Il faudrait ajouter

dans le guide explicatif destiné aux professeurs qu'ils suggèrent à leurs élèves d'utiliser *Maps* pour les distances. Certains évoquent également quelques difficultés à prévoir les voyages futurs ou à évaluer le type de voiture utilisé.

Par ailleurs, un élève évoque des difficultés à connaître le nombre de vêtements achetés sur l'année tandis qu'un autre a du mal à évaluer la durée de vie moyenne d'équipements d'un même type. Celui-ci parle notamment de la différence de durée de vie entre un smartphone (2/3 ans) et une télévision (+ de 5 ans).

La professeure de sciences discute également de la difficulté à rassembler toutes les données de l'école. Elle a réussi mais après énormément de travail et de recherches en collaboration avec la direction, le comptable, le responsable informatique, le professeur de sport et l'ouvrier. Elle apprécierait également qu'un nombre d'employés par type de transport soit demandé et pas un pourcentage d'employés. Les pourcentages ont été choisis initialement car une estimation en pourcentage semblait plus facilement réalisable. Il faudrait avoir l'avis d'un plus grand nombre de professeurs afin de choisir la meilleure option. De plus, les données des poubelles de l'école sont en litres et non au kg. Le professeur de Thuin lui n'a pas réussi à rassembler les informations sur l'école, notamment les superficies et les consommations.

Malgré toutes ces remarques, comme évoqué plus haut, un peu plus de trois quarts des élèves sont au moins plutôt d'accord avec le fait que les données sont accessibles. C'est pour cela que l'objectif d'accessibilité des données est qualifié de "partiellement atteint".

4.3.4 Idée des ordres de grandeur des émissions de GES

La question suivante traite la prise de conscience de l'élève sur les quantités de GES qu'il émet. Elle est posée de la façon suivante : "Maintenant que vous avez fait votre bilan carbone, avez-vous une meilleure idée des quantités de CO₂eq. que vous émettez?". Les élèves doivent alors choisir une réponse parmi ces quatre propositions : "pas du tout d'accord", "plutôt pas d'accord", "plutôt d'accord" et "tout à fait d'accord". Les cinquante-sept élèves des 3 classes différentes ont répondu à cette question. Les résultats sont montrés à la Figure 4.6.

Cette question entre dans l'objectif de sensibilisation des élèves évoqué à la sous-section 3.3.1. Sensibiliser les élèves aux ordres de grandeurs de leurs émissions annuelles est effectivement un des objectifs de ce calculateur. Plus de 87% des élèves testés sont plutôt d'accord avec le fait qu'ils ont une meilleure idée des quantités de GES qu'ils émettent. Parmi ceux-ci, un peu moins de la moitié est tout à fait d'accord avec cette affirmation. L'objectif de sensibilisation aux ordres de grandeur est donc largement atteint. Il reste cependant douze élèves parmi les

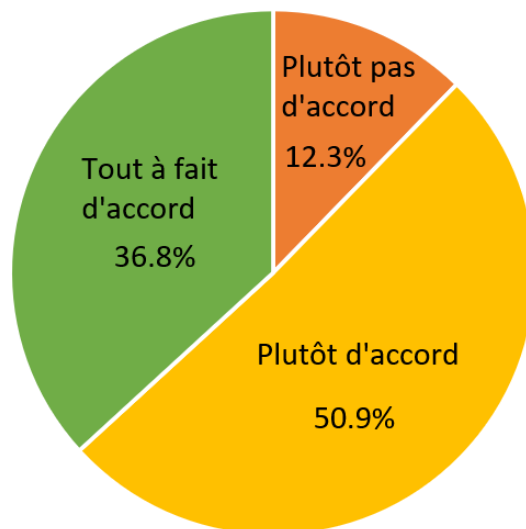


Figure 4.6 – Meilleure idée des quantités de CO₂-eq émises ?

cinquante-sept qui ne sont plutôt pas d'accord avec cette affirmation. Six parmi ces douze insatisfaits ont commenté leurs choix. Trois d'entre eux évoquent le sentiment que ces chiffres ne sont pas réalistes. Ils ne seraient pas réalistes à cause du manque de précision dans les réponses aux questions ou parce qu'ils n'ont aucune preuve de la valeur de ces chiffres. Ils ont le droit de douter et d'être critiques. Une preuve de tous les calculs, de toutes les formules et hypothèses devrait pouvoir être disponible sur le site. Une copie de l'annexe A pourrait par exemple servir de preuve pour ce calculateur. Un autre élève dit qu'il s'attendait à une empreinte carbone plus élevée donc il ne croit pas non plus en la véracité du calculateur. Enfin, deux élèves disent ne pas être intéressés par le sujet et n'ont donc pas prêté attention aux résultats.

4.3.5 Idée des actions potentielles pour diminuer l'empreinte carbone et des ordres de grandeur de ces réductions d'émissions

La question suivante regroupe deux sous-questions évoquant les aspects de la vie de l'élève sur lesquels il peut agir pour diminuer son empreinte carbone ainsi que les ordres de grandeurs de ces potentiels changements de comportement. La question est posée de la façon suivante : "Maintenant que vous avez fait votre bilan carbone, savez-vous sur quels aspects de votre vie vous pouvez agir pour diminuer votre empreinte carbone et l'ordre de grandeur de diminution de ce(s) changement(s) de comportement?". Les élèves doivent alors, pour chacune des 2 sous-questions choisir une réponse parmi ces quatre propositions : "pas du tout d'accord", "plutôt pas d'accord", "plutôt d'accord" et "tout à fait d'accord". Les cinquante-sept élèves des 3 classes différentes ont répondu à cette question. Les résultats sont montrés aux Figures 4.7 et 4.8.

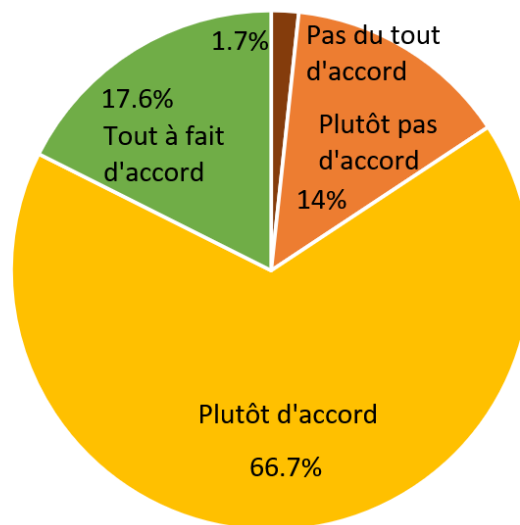


Figure 4.7 – Idée d'aspects de la vie sur lesquels agir.

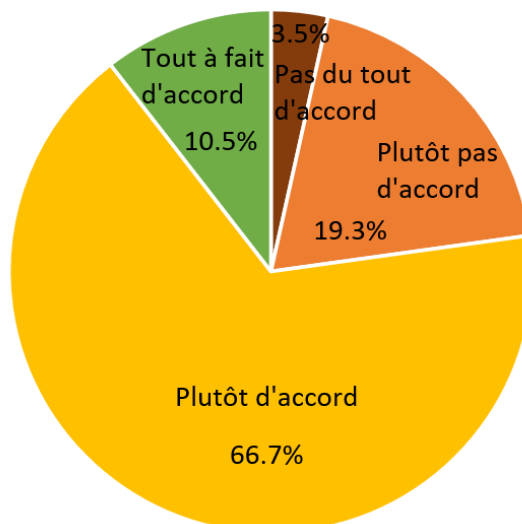


Figure 4.8 – Idée des ordres de grandeur de diminution d'émissions en cas de changements de comportement.

Si les élèves sont plutôt d'accord avec le fait de savoir sur quels aspects de leurs vies ils peuvent agir pour diminuer leur empreinte, c'est sans doute que la répartition des modules et sous-modules, leurs noms ainsi que l'affichage des résultats a été assez parlant pour eux et qu'ils connaissent, grâce à l'outil, leurs émissions selon leurs différents postes d'émissions de GES. En l'occurrence, 84% des élèves sont au moins plutôt d'accord avec cette affirmation. L'objectif de sensibilisation aux émissions des différents aspects de la vie sur lesquels chaque élève peut agir en fonction de sa propre empreinte carbone est atteint.

La seconde sous-question évoque plutôt les ordres de grandeur de la diminution d'émissions que des potentiels changements de comportement pourraient modifier. Les élèves peuvent

voir ces différences d'ordre de grandeur de deux façons : soit en comparant les effets sur le poids carbone d'un changement d'une réponse manuellement pendant le remplissage du test, soit en utilisant le *mode action*. Les trois classes n'ont pas utilisé ce mode par manque de temps. Ils ont pu tout de même se faire une idée de ces ordres de grandeur vu les 77% de réponses positives à cette deuxième sous-question. Il y a tout de même 23% des élèves qui ne sont pas d'accord avec le fait d'avoir, grâce au calculateur, une idée de ces ordres de grandeur. L'utilisation du *mode action* aurait peut-être convaincu certains de ces élèves. Un élève répondant plutôt négativement évoque le fait qu'il n'y a pas d'instructions et de directives précises quant aux aspects de la vie sur lesquels il pourraient agir ou sur les ordres de grandeur de diminution d'émissions dûs à des changements de comportements.

4.3.6 Changements de comportements après utilisation du calculateur

La question suivante demande aux élèves s'ils vont changer certaines habitudes après avoir utilisé l'outil. La question est posée de cette façon : "Allez-vous changer certaines habitudes après avoir fait ce bilan carbone?". Les élèves ont répondu ce qu'ils voulaient à cette question. Quarante-six élèves y ont répondu.

Vingt-neuf élèves, soit 63% des élèves ont répondu "non" ou "je ne pense pas". Certains évoquent que certaines choses ne peuvent pas changer, qu'ils ne savent pas faire autrement ou que vivre sous le toit des parents est un frein trop grand au changement. D'autres évoquent qu'ils ne comptent pas le faire dans l'immédiat mais plus tard ou considèrent que leur empreinte carbone est assez basse que pour ne rien changer.

Quinze élèves, soit 33% des élèves ont répondu "oui" ou "je vais essayer". La plupart essaiera de diminuer les points clés de leur empreinte carbone qui sont souvent l'alimentation ou les transports. D'autres veulent réduire leur empreinte en réduisant la consommation d'habits ou de streaming. Le poids carbone de ces 2 derniers points n'est sans doute pas significatif par rapport aux autres points mais si l'élève peut agir à ces niveaux car il a moins prise sur les plus gros niveaux, c'est une bonne chose également. Cela prouve que mettre le streaming dans le questionnaire, malgré l'impact assez faible qu'il a, permet de faire réfléchir certains élèves.

Le reste des élèves est plus ambigu sur la question. Un élève évoque peut-être changer certaines habitudes mais que "cela dépend des niveaux". Un autre élève dit vouloir réduire ses émissions mais adore trop voyager. Il y voit donc ici un conflit d'intérêt.

Les questions précédentes traitaient plus de la sensibilisation en terme d'ordre de grandeur, de connaissances et de prise de conscience. L'objectif premier du calculateur porte sur

cette sensibilisation et cet objectif, comme montré précédemment est atteint. Cette question-ci va un cran plus loin. Elle porte sur la sensibilisation au niveau de l'action concrète. Est-ce que les élèves vont réellement changer certains comportements pour diminuer leur empreinte carbone? Ce n'est pas l'objectif premier du calculateur mais il sert de base chiffrée à ces potentiels changements réels de comportement. De fait, les chiffres montrent une réelle différence avec les questions précédentes. Seuls 33% vont changer ou essaieront de changer certains comportements. C'est-à-dire que moins de la moitié des élèves sensibilisés aux ordres de grandeur de leur empreinte carbone agira réellement pour la réduire. Un simple outil ne suffit pas pour changer totalement les comportements mais il peut s'inscrire dans une démarche plus grande de sensibilisation.

4.3.7 Influence de ce genre d'outil sur le choix d'études ou de métier

La question suivante traite de la potentielle influence que ce genre d'outil peut avoir sur le choix d'études ou de métier des élèves. Elle est posée de la façon suivante : "Pensez-vous que ce genre d'outil puisse influencer votre choix d'étude supérieure ou de métier ou ceux de vos camarades ou de la jeunesse en général?". Les élèves doivent alors choisir une réponse parmi ces quatre propositions : "pas du tout d'accord", "plutôt pas d'accord", "plutôt d'accord" et "tout à fait d'accord". Cinquante-six élèves ont répondu à cette question. Les résultats sont montrés à la Figure 4.9.

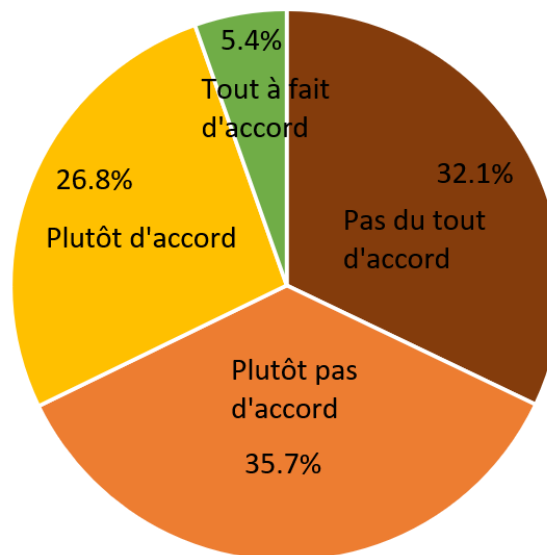


Figure 4.9 – Influence de ce genre d'outil sur les études ou le métier.

Comme évoqué à la sous-section 2.2.2, les élèves en fin de secondaire sont à un stade crucial de leur développement personnel. Ils vont ou sont en train de réfléchir à leurs études après

le secondaire ou à leur futur métier. D'autre part, s'engager dans des métiers à impact environnemental, ou à l'inverse dans des métiers qui impactent moins l'environnement, est parfois plus significatif pour les émissions ou gratifiant pour la personne. Il est donc intéressant d'observer si ce genre d'outil peut influencer les décisions futures des élèves. C'est également un objectif second et non premier du calculateur.

Les élèves plutôt pas d'accord ou pas du tout d'accord avec l'influence de ce genre d'outil sur les choix futurs énoncent qu'il n'y a pas de lien entre ce genre d'outil et leurs choix futurs, que ce sont plutôt les passions et les envies de chacun qui dictent ces choix. Certains disent avoir déjà fait leur choix, plus aucune influence n'est dès lors possible.

Les élèves plutôt d'accord avec cette affirmation - qui représentent un quart des élèves sondés, ce qui n'est pas rien - évoquent que l'outil peut provoquer une prise de conscience et donc influencer certains choix futurs dont le choix des études en allant vers des études qui mèneront à des métiers acteurs de la transition ou en n'allant pas vers des études menant à des métiers liés à la surconsommation ou des métiers qui demandent de voyager loin et beaucoup.

De façon générale, ce genre d'outil n'influence donc pas directement le choix d'études ou de métier des élèves mais peut provoquer chez une minorité une prise de conscience qui mène à un choix d'études menant à des métiers jugés comme "bon" pour l'environnement ou la diminution des émissions de GES.

4.3.8 Autres réponses, commentaires et suggestions des élèves et des professeurs

Les questions ci-dessus reprennent les points importants des objectifs du calculateur. Les élèves et les professeurs ont également pu émettre d'autres remarques sur le calculateur. Cette sous-section reprend toutes ces autres remarques non liées aux questions plus précises déjà abordées ci-dessus.

Plusieurs élèves de parents séparés disent ne pas savoir comment remplir certaines valeurs vu que leur vie diffère d'une semaine à l'autre. Pour les deux derniers modules, comme évoqué à l'annexe A, il leur est clairement suggéré de ne prendre en compte qu'un seul domicile et d'utiliser potentiellement le mode action pour comparer ensuite les deux domiciles. Il pourrait également leur être suggéré de procéder de la même façon pour leurs trajets domicile-école ou leur consommation car il diffère également selon les semaines.

D'autres élèves évoquent que certains de leur comportement ou façon d'émettre ne sont

pas repris dans le questionnaire. Par exemple, pour le chauffage, le poêle à pellets n'est pas repris, seul la chaudière à bois est reprise pour le domicile. Un élève voudrait également plus de types de voiture alors qu'il y en a déjà beaucoup tandis que d'autres évoquent qu'il y a trop de choix pour les voitures. Un autre, vivant dans une maison passive, a eu du mal à remplir le module *Domicile*, notamment pour le chauffage. Un livre en location pour l'achat de matériel scolaire n'est également pas repris. La possession d'un drone dans le matériel personnel n'y est pas renseigné non plus.

La formulation de certaines questions a posé quelques soucis. Un élève évoque le fait que chez lui les courses ne sont faites qu'une fois par mois, or le nombre de courses est demandée par semaine. Il pourrait remplir 0.25 fois par semaine mais ne le fait pas naturellement. Le nombre de tables dans le mobilier de la maison devrait reprendre le nombre de bureaux également, ce qui n'est pas clair pour l'instant. Un maximum de 4 voyages personnels par an est accepté, certains élèves ont été bloqués à ce niveau. Les élèves sont en contradiction quant à la précision du questionnaire. Certains voudraient qu'il soit plus précis et d'autres disent qu'il est trop précis et que les questions sont trop longues. Il serait intéressant de savoir quelles questions sont trop précises et trop longues ou trop peu précises.

Les professeurs ont également d'autres commentaires sur le calculateur et les tests effectués. La professeure de Court-Saint-Etienne a trouvé les élèves très intéressés lors du test tandis que le professeur de Thuin a trouvé que seulement 30% de ses élèves étaient intéressés. Ses autres élèves ont réalisé le test, ont trouvé que c'était une activité ludique mais sans intérêt réel par rapport à la problématique. Les deux professeurs sont donc en contradiction sur ce sujet. Par ailleurs, ils ont tous deux trouvés que la répartition des modules, sous-modules et les noms attribués à ceux-ci étaient très clairs et parlant. Cependant, la professeure de sciences a évoqué le fait que le nom du calculateur "calculateur écoles" ne représente pas le public visé et elle a raison. Le nom "calculateur élèves" serait plus judicieux. Sur un point de vue plus technique, elle a trouvé que l'amortissement de 30 ans des maisons était trop approximatif et qu'une surface de 150 m² pour une grande maison c'était assez peu. De plus, dans ses recherches pour les données de l'école, elle a attribué les terrains de football en macadam dans les surfaces de sport imperméables. Il aurait été plus judicieux de les mettre dans cour extérieure en dur car le FE serait plus approprié. La surface de sport imperméable est davantage pour les surfaces peu imperméables telles qu'une piste d'athlétisme. La formulation est à revoir pour ces questions.

4.3.9 Synthèse, analyse et regard critique des résultats

Comme évoqué à la fin du Chapitre 2, le principal objectif du calculateur est de sensibiliser les élèves du secondaire de la Fédération Wallonie-Bruxelles à leur propre empreinte carbone, c'est-à-dire, leur faire prendre conscience de leurs émissions de GES annuelles, qu'ils aient une idée des ordres de grandeur de ces émissions et qu'ils sachent d'où celles-ci proviennent afin de peut-être essayer de les réduire par la suite. Cette prise de conscience pourrait potentiellement avoir des répercussions sur les choix futurs des élèves ou sur l'impact qu'ils peuvent avoir auprès de leurs proches. Pour réaliser cet objectif, le calculateur doit répondre à certaines contraintes, comme évoqué à la sous-section 3.3.3 du Chapitre 3. Il doit être accessible aux élèves de cet âge-là au niveau du vocabulaire, de la formulation et des données demandées. Il doit également respecter un temps de complétion qui convient au contexte dans lequel il est réalisé, c'est-à-dire, dans une classe lors d'un ou deux cours de 50 minutes.

Les tests et résultats montrés et expliqués précédemment permettent de mettre en avant le niveau de rencontre de chacun de ces objectifs. Les temps de complétion du calculateur semblent être ceux attendus. Réaliser tout le questionnaire et analyser les résultats semble être impossible en un seul cours. Il faut plutôt deux cours pour réaliser l'ensemble. Si le professeur décide de ne faire qu'une partie des modules, c'est tout à fait réalisable en un seul cours. Les résultats ont aussi montré que la façon dont la classe avançait (tout le monde ensemble ou chacun de son côté) avait une importance non négligeable sur le temps de complétion. Avancer chacun de son côté est plus rapide. Ensuite, les objectifs d'accessibilité du vocabulaire et d'accessibilité des données sont atteints pour la plupart des élèves. De plus, les objectifs de sensibilisation semblent être atteints également pour la plupart des élèves (plus de 75% des élèves sondés). Ils ont une meilleure idée des quantités de gaz carbonique équivalent qu'ils émettent, savent sur quels aspects ils pourraient agir et pourraient connaître l'ordre de grandeur de diminution de leurs émissions s'ils agissaient. Par ailleurs, deux objectifs sous-jacents aux précédents et plutôt secondaires ne sont pas atteints. En effet, malgré la sensibilisation, seul un tiers des élèves va réellement changer ou essayer de changer son comportement pour réduire ses émissions de GES et à peine 30% des élèves pensent que ce genre d'outil puisse influencer sur les choix d'études futurs ou choix de métier. Le verre peut également être vu à moitié plein et se dire que 30% est déjà une belle réussite.

Il faut cependant rester très vigilant et critique quant aux résultats de ces tests ainsi qu'aux interprétations faites sur base de ces résultats. Premièrement, seulement trois classes ont été testées pour un total de 61 élèves, sachant en plus que tous les élèves n'ont pas répondu au sondage. C'est très peu étant donné le large public visé. Ensuite, la population testée ne constitue

probablement pas un échantillon suffisamment représentatif de la population globale. Les deux écoles observées peuvent peut-être être considérées comme des établissements possédant une bonne réputation, avec des élèves peut-être plus sensibilisés et ouverts aux discussions sur les problèmes climatiques. C'est pourquoi, si l'AWAC envisage de mettre ce calculateur en ligne à l'avenir, elle devra réaliser des tests à plus grande échelle, sur un échantillon plus diversifié et représentatif. Elle a d'ailleurs davantage de ressources pour le faire que ne pourrait en disposer un mémorant. Finalement, la véracité des réponses des élèves au sondage d'après test peut être remise en cause. La façon dont sont posées les questions et sont proposées les réponses peut dans certains cas influencer inconsciemment sur les réponses des élèves. Ils ont également peut-être répondu très rapidement à ce questionnaire sans poser une réflexion réelle à chaque question. Le sondage, n'ayant pas été élaboré par un expert en la matière, pourrait ne pas être construit de manière optimale, ce qui risque éventuellement d'introduire des biais dans certains résultats. Toutes ces raisons justifient le regard critique qu'il faut avoir en observant les résultats de ces tests. Néanmoins, ceux-ci permettent de mettre en avant des premiers résultats quant aux objectifs du calculateur et des premières améliorations possibles de l'outil mais ne sont effectivement pas suffisants pour juger du niveau de réussite du projet dans son entièreté. Les élèves et les professeurs ont en effet permis de mettre en lumière certains problèmes ou imperfections du calculateurs. Les améliorations possibles sont donc reprises à la section suivante.

4.4 Perspectives d'amélioration du calculateur et de son intégration

Comme évoqué à la sous-section 3.3.3, il serait peut-être mieux de pouvoir réaliser tout le questionnaire, l'analyse des résultats ainsi que l'utilisation du *mode action* en un seul cours de 50 minutes. Pour y parvenir, il y a plusieurs possibilités. Premièrement, suggérer aux professeurs de mettre un bon rythme en classe est une option. Ensuite, enlever du questionnaire, donc du périmètre de déclaration, plusieurs questions est envisageable. Certains équipements de l'école pourraient être retirés tels que les équipements pour le cours de sport ou ceux qui émettent très faiblement. Retirer la consommation du numérique ou les achats de produits pour l'hygiène est également une option. Si l'utilisateur inscrivait un seul type de voiture au début du questionnaire et que chaque distance faite en voiture prenait les FE de ce type de véhicule, cela pourrait accélérer la complétion du questionnaire pour les élèves roulant beaucoup en voiture. Un mélange entre réduire les questions et faire en sorte de mettre un bon rythme de complétion en classe permettrait peut-être de remplir l'ensemble du questionnaire et faire une analyse complète des résultats en un seul cours. Cependant, la précision du calculateur diminuerait et

l'intérêt des élèves pour le calculateur pourrait diminuer s'il n'y a pas de contexte ou s'il est très bref.

À l'empreinte carbone de l'utilisateur affichée dans les résultats doivent être ajoutées les émissions dues au service public tels que les routes, les hôpitaux ou encore l'armée et les émissions dues aux comptes épargnes et autres investissements. Il faudrait réussir à le communiquer clairement aux utilisateurs pour qu'ils en soient conscients avec un ordre de grandeur de ces émissions par personne.

Certaines données sont compliquées à obtenir pour des élèves ou pour des professeurs. Les données sur le domicile telles que la superficie de la maison, la consommation électrique et les températures appréciables en sont des exemples. Pour ces données sur le domicile, il pourrait être suggéré aux professeurs dans le guide explicatif de l'annexe B de demander aux élèves de préparer ces données avant l'utilisation de l'outil. Dans ce guide, il devrait également être noté que les professeurs doivent dire aux élèves d'accéder aux distances - qu'ils trouvent parfois dures à estimer - grâce à internet. Il est parfois aussi difficile de prévoir certaines données vu que le bilan se fait sur l'année scolaire en cours. Peut-être faudrait-il le faire sur l'année scolaire précédente. Les données sur l'école paraissent compliquées à obtenir pour les professeurs. Il faudrait par conséquent peut-être trouver un moyen de rendre cette recherche moins contraignante pour le professeur en trouvant des moyens de l'accompagner dans sa démarche. Par exemple, en lui donnant certains conseils supplémentaires dans le guide explicatif.

Le questionnaire manque également parfois de clarté. Par exemple, les termes utilisés pour le module *Domicile* ont posé des problèmes à pas mal d'élèves. De plus, ajouter plus de types de repas ou plutôt que de les catégoriser en types de régime, les catégoriser en types de repas que les gens mangent le plus souvent, pourrait aider les élèves à remplir plus précisément le questionnaire. Trop de types de repas rendrait moins lisible et plus lourd le questionnaire. Un équilibre, peut-être meilleur que celui actuel, peut être envisagé. Par ailleurs, les élèves possédant plusieurs domiciles et changeant de mode de vie toutes les semaines ou assez souvent sont bloqués dans certaines situations. Pour le domicile, une note de bonne utilisation de l'outil leur est suggérée, ce n'est peut-être cependant pas suffisant. Parvenir à intégrer plusieurs domiciles dans le calculateur aiderait grandement à la précision de l'empreinte carbone de ces élèves. C'est néanmoins plus compliqué techniquement à mettre en place et le temps de complétion deviendrait très long.

Les élèves doutent également parfois de l'exactitude des chiffres du poids carbone calculé et des résultats affichés. Une note expliquant la démarche pourrait être rendue disponible aux utilisateurs. Un lien menant vers un document ressemblant à l'annexe A pourrait être une autre

solution.

Afin de permettre une meilleure sensibilisation, un intérêt plus grand pour l'activité et de potentiels réels changements de comportements des élèves, le calculateur doit être intégré dans une éducation scolaire plus globale à l'environnement et aux problèmes climatiques comme évoqué à la sous-section 2.2.2 du Chapitre 2. Cela n'entre cependant pas dans les objectifs du calculateur. C'est plutôt le rôle des professeurs et de l'éducation en général. Le guide explicatif pour les professeurs doit cependant être clair, précis et permettre une parfaite intégration de l'outil dans cette éducation approfondie aux problèmes environnementaux et climatiques.

D'autres perspectives d'amélioration de l'outil sur des aspects plus précis et techniques du calculateur sont disponibles à l'annexe C.

Toutes ces pistes d'amélioration nécessitent une analyse approfondie de la part de l'AWAC. Cette étape devra être suivie par des ajustements de l'outil et la réalisation de nombreux tests dans divers établissements scolaires, en vue de son intégration sur le site officiel et public des calculateurs de l'AWAC.

Conclusion

La sensibilisation des jeunes, et plus particulièrement, des élèves du secondaire aux enjeux climatiques revêt d'une importance cruciale. Cette sensibilisation fait partie des plans d'action climat wallons et belges. Une façon de les sensibiliser est d'intégrer l'utilisation d'un calculateur d'empreinte carbone dans leur parcours scolaire et de renforcer ainsi l'éducation climatique dans le cadre neutre qu'est l'école.

Ce projet de création d'un calculateur d'empreinte carbone est réalisé dans la continuité des créations des calculateurs de l'AWAC. Ces calculateurs visent un public précis et sont basés sur les habitudes de vie et comportements du public visé. Les objectifs de ce calculateur sont multiples. Il doit réussir à sensibiliser les élèves à leurs propres émissions de GES et à identifier les sources spécifiques de ces émissions, dans l'espoir de susciter des changements de comportement. Le questionnaire du calculateur doit être accessible aux élèves tant au niveau du vocabulaire usité qu'aux données demandées. L'utilisation de l'outil se fait dans un certain contexte et doit donc respecter certaines contraintes, par exemple, de temps de remplissage.

Tous ces objectifs et toutes ces contraintes ont été consciencieusement pris en considération lors de l'élaboration du calculateur. La méthode *Bilan Carbone* a été appliquée pour la création du questionnaire, pour les choix de périmètre de l'élève ainsi que pour tous les choix de FE, de formules et d'hypothèses dans les calculs de poids carbone. De plus, des échanges avec des professeurs et leurs nombreux retours pendant la création de l'outil ont permis son amélioration continue et une vision d'acteurs du terrain en vue de l'intégration de celui-ci dans le parcours scolaire des élèves. Un guide explicatif de la bonne utilisation du calculateur a également été créé afin d'accompagner au mieux les professeurs voulant utiliser l'outil dans leurs classes.

Des tests ont été réalisés dans trois classes de cinquième et sixième secondaire. Ces tests, bien que réalisés par une population assez faible et peu représentative de l'ensemble des élèves de la Fédération Wallonie-Bruxelles, ont permis de mettre en avant certains points forts et points faibles du calculateur ainsi que rendre compte d'un premier niveau de rencontre de ses objectifs principaux et secondaires. Par ailleurs, une comparaison des ordres de grandeur des résultats d'un élève-type avec les émissions moyennes wallonnes permet de juger de la cohérence quan-

titative de ceux-ci.

L'objectif principal, la sensibilisation des élèves, est atteint. Plus de 85% des élèves testés ont une meilleure idée des quantités de CO₂e qu'ils émettent et plus de 80% savent sur quels aspects de leur vie ils pourraient agir pour diminuer leur empreinte carbone. Par ailleurs, les élèves ont trouvé le vocabulaire et les données assez accessibles. La réussite de l'objectif du temps de complétion est quant à lui plus ambigu : les temps de complétion théoriques et inscrits dans le guide explicatif sont respectés, cependant réaliser tout le questionnaire, faire des analyses des résultats et utiliser le *mode action* prend plus qu'un cours de 50 minutes, ce qui ne correspond pas à l'objectif initial. Les objectifs secondaires de changements réels de comportement et d'influence sur les choix futurs des élèves ne sont eux pas atteints. Un tiers des élèves seulement pense changer son comportement après avoir utilisé l'outil et plus de 65% des élèves sondés pensent que ce genre d'outil n'influence pas leur choix d'études ou de métier ou ceux des autres élèves.

Ces tests, associés à une analyse post conception, ont également ouvert la voie à des perspectives d'amélioration de l'outil. Tous les aspects du calculateur peuvent en effet être améliorés, rien n'est jamais parfait. Certaines données restent compliquées à avoir pour des élèves de cet âge. Un manque de clarté et de précision dans la formulation peut rendre certaines questions compliquées à remplir et rendre les résultats moins précis. Le temps de complétion peut être amélioré et un meilleur accompagnement des professeurs dans l'intégration de l'outil peut servir également à améliorer la sensibilisation.

En définitive, un calculateur pour élèves du secondaire adapté à leurs habitudes de vie a été créé, est fonctionnel et peut être intégré dans leur parcours scolaire, grâce notamment à un guide explicatif qui accompagne les professeurs voulant utiliser l'outil dans leurs cours. Des tests ont été effectués et montrent une première réussite des objectifs principaux du calculateur. Néanmoins, certains points sont à améliorer. L'AWAC doit en effet passer au crible les perspectives d'améliorations citées ici et refaire des tests à plus grande échelle si elle compte inclure ce calculateur sur son site officiel afin de proposer cette activité pédagogique éducative à toutes les écoles et tous les élèves de fin de secondaire de la Fédération Wallonie-Bruxelles. Ce projet pourrait en effet avoir une portée immense sur la sensibilisation des jeunes francophones en Belgique.

Annexes

Description détaillée du questionnaire

A.1 Questions et conversions

Cette annexe présente toutes les questions du calculateur telles qu'elles sont présentées aux utilisateurs ainsi que les calculs, hypothèses, estimations et facteurs d'émission permettant la conversion des réponses de l'utilisateur en poids équivalent CO₂, noté kgCO₂-eq. Cette partie est primordiale car elle permet de comprendre la face cachée de l'iceberg qu'est le questionnaire. En effet, derrière le calculateur simplifié, il y a énormément de choix et d'hypothèses que l'utilisateur non confirmé ne soupçonne pas. Ces choix et hypothèses se doivent d'être justifiés afin que d'une part, des experts puissent valider la robustesse du calculateur et que d'autre part, n'importe quel utilisateur puisse comprendre, s'il le souhaite, comment est calculée son empreinte carbone.

A.1.1 Approche et légende

La retranscription du questionnaire en ligne dans ce mémoire a été méthodologiquement réalisée grâce à une séparation de cette section en modules et en sous-modules, ce qui permet de faciliter au maximum la lecture.

Dans chaque sous-module sont d'abord présentées les questions préremplies à titre informatif grâce à une capture d'écran du site internet. Ensuite, pour résoudre le problème d'interdépendance de certaines questions entre elles, un arbre de décision montre l'affichage des questions concernées sous certaines conditions et permet l'illustration du modèle carbone utilisé. Par après, Les variables contenues dans chaque question sont décrites dans un tableau. Ces variables peuvent être de 5 types différents :

- Les variables *nombre* : l'utilisateur entre une valeur numérique. Le nom de ces variables commence par un **X**.
- Les variables *liste déroulante* : l'utilisateur choisit une option parmi une liste de choix prédéfinis. Le nom de ces variables commence par un **D** et la liste des choix possibles est exposée dans la description de la variable en regard de son nom.

- Les variables *texte* : l'utilisateur entre un texte libre. Ce texte n'est généralement pas utile pour les calculs d'empreinte carbone mais permet de personnaliser le questionnaire. Le nom de ces variables commence par un **T**.
- Les variables *hypothèse* : elles représentent des hypothèses particulières et ne sont pas présentées à l'utilisateur. Leur nom commence par **HYP**.
- Les variables *estimation* : Ces variables contiennent une valeur estimée sur base des réponses précédentes de l'utilisateur et de certaines hypothèses. L'utilisateur ne les voit généralement pas mais parfois, s'il possède une valeur plus précise, il lui est possible de les modifier. Leur nom commence par **EST**.

Les explications des calculs d'empreinte carbone sont ensuite exposées pour chaque question sur base des variables à remplir, des questions affichées et des hypothèses faites.

A.1.2 Mon empreinte carbone

Questions générales

Cette première section commence par demander les informations générales de l'élève : son nom avec **T-name**, son année d'étude avec **D-study-year** et demande pour quelle année scolaire l'élève fait son bilan carbone avec **D-school-year**. Ces informations n'impactent évidemment pas les résultats. Cette première question sert principalement à impliquer l'utilisateur en rendant le questionnaire plus personnel. Le choix de l'année scolaire permet également de faire comprendre à l'élève que le bilan carbone qu'il s'apprête à effectuer se fera sur l'année scolaire en cours et qu'il devra sûrement poser des hypothèses sur ses activités dans le futur. La question de la temporalité a déjà été expliquée dans la sous-section 3.4.1. Les questions sont exposées à la Figure A.1 et les variables sont décrites sur le Tableau A.1.

Je m'appelle **Louis** et je suis en **cinquième** secondaire.

Je fais mon bilan carbone pour l'année scolaire en cours : **2023-2024** et j'essaie d'estimer au mieux les activités passées et futures de cette année scolaire (à partir de cette rentrée scolaire jusqu'à la suivante, vacances comprises).

Figure A.1 – Questions générales.

Concernant la variable **D-study-year**, les années d'étude s'étendent de la première secondaire à la sixième malgré le fait que le questionnaire vise plutôt des élèves à partir de la quatrième. En effet, le questionnaire vise cette tranche d'âge mais cela n'empêche qu'il convient également pour des élèves plus jeunes. La variable **D-school-year** va jusqu'à 2033-2034. C'est

Table A.1 – Description des variables générales de l'utilisateur.

Nom de la variable	Description
T-name	Nom de l'utilisateur
D-study-year	Année d'étude secondaire (première,..., sixième)
D-school-year	Année scolaire en cours (2023-2024,..., 2033-2034)

simplement pour ne pas alourdir le questionnaire et le code. Il faudra penser à le mettre à jour en temps voulu.

A.1.3 École

Le premier module est consacré à l'école. L'école rentre dans le périmètre bilan carbone de l'élève car c'est sa "vie active", c'est là qu'il passe une bonne partie de son temps. Ce module reprend toutes les émissions non liées aux choix personnels de l'élève. Cela comprend l'infrastructure de l'école, l'énergie consommée par l'école, les déplacements des employés pour aller et revenir de l'école, les achats de l'école ainsi que ses déchets. Le raisonnement est le suivant. L'élève fait partie intégrante de l'école qui sert essentiellement à éduquer les élèves. L'école émet des émissions de GES donc une partie de ces émissions, malgré le manque de pouvoir d'action de l'élève sur celles-ci, rentre dans son empreinte carbone.

Pour ce module, ce sont les professeurs qui récoltent les données auprès des écoles. celles-ci peuvent différer grandement entre-elles. C'est pourquoi ce module se veut être le plus générique possible, en prenant un maximum en compte toutes les possibles caractéristiques de chaque école.

Questions générales

Ce premier sous-module est consacré aux informations générales de l'école : son nom avec **T-school-name**, sa localisation avec **T-school-city** ainsi que le nombre d'élèves qu'elle contient avec **X-students-number**. Le nom et la localisation de l'école n'influencent pas les résultats. Ils servent à personnaliser l'entièreté du module. Le nombre d'élèves permet de répartir l'ensemble des émissions de l'école par élève. En effet, il a été jugé cohérent de répartir ces émissions sur l'ensemble des élèves en excluant les employés (profs, direction etc.) car le but intrinsèque de l'école est d'éduquer et d'instruire les élèves. Évidemment, l'école sert aussi aux employés par le salaire, par le bien-être social, par l'accomplissement professionnel mais ce sont des objectifs indirects considérés comme bénin par rapport à l'objectif éducatif des élèves.

Dans la suite du module, chaque émission calculée sera donc divisée par le nombre d’élèves de l’école afin d’avoir une émission par élève. Tous les élèves d’une même école auront donc normalement le même impact si les données transmises et hypothèses faites par leurs professeurs sont pareilles. Si une école compte une section secondaire et une section primaire et que les élèves de secondaire sont dans des infrastructures proches de celles des élèves de primaire, il est supposé que les données recueillies par le professeur se limitent à la section secondaire (ex. : compteurs électriques séparés). Sont donc bien comptés le nombre d’élèves de la section secondaire. Les questions générales de l’école sont demandées sur la Figure A.2 et les variables qui y sont associées sont décrites sur le Tableau A.2.

Mon école secondaire se nomme le/l' **Collège du Sacré-Coeur** et est située à **Charleroi**

Cette école compte **1 050** élèves. 

Figure A.2 – Questions générales de l’école.

Table A.2 – Description des variables générales de l’école.

Nom de la variable	Description
T-school-name	Nom de l’école
T-school-city	Localisation de l’école
X-students-number	Nombre d’élèves de l’école

Infrastructure

Le sous-module *Infrastructure* reprend les émissions dues à la construction de toutes les infrastructures que comporte l’école. Il est demandé à l’utilisateur la surface de bâtiments avec **X-school-building-surface**, la surface de parkings non couverts avec **X-school-parking-surface**, la surface de la cour extérieure avec **X-schoolyard-surface**, la surface de préau avec **X-cover-surface**, le matériau du préau avec **D-cover-surface-material** et la surface de terrains de sport avec **X-sports-field-surface**. Les questions de ce sous-module sont reprises à la Figure A.3 et la description des variables sont sur le Tableau A.3.

Les élèves d’une seule année ne peuvent supporter le poids de la construction de l’école à eux seuls. C’est pourquoi la méthode *Bilan Carbone* propose de considérer la construction des bâtiments par rapport à leur amortissement si le bâtiment n’est pas déjà amorti [46]. L’amortissement des bâtiments d’une école est d’environ 50 ans [47]. Pour simplifier le questionnaire, on considère les émissions de toutes les écoles par rapport à un amortissement de 50 ans. Chaque

Le/L' Collège du Sacré-Coeur utilise :

- > 1500 m² de bâtiments (classes, salles de gym, salles d'étude, réfectoire, sous-sols, parkings couverts, et compter la surface de tous les étages), 
- > 500 m² de parking non couvert,
- > 800 m² de cour extérieure en dur, 
- > 200 m² de toit de préau en métal (tôle d'acier galvanisé), 
- > 0 m² de terrain de sport imperméable, piste d'athlétisme ou semblable. 

> Next

Figure A.3 – Questions du sous-module Infrastructure.

Table A.3 – Description des variables des infrastructures de l'école.

Nom de la variable	Description
X-school-building-surface	surface de bâtiments (m ²)
X-school-parking-surface	surface de parkings extérieurs (m ²)
X-schoolyard-surface	surface de cour extérieure (m ²)
X-cover-surface	surface de préau (m ²)
D-cover-surface-material	matériau du préau (métal, verre transparent, tuile)
X-sports-field-surface	surface de terrains de sport (m ²)

émission de construction (surface considérée multipliée par le FE en question) est alors divisée par le nombre d'élèves et par 50.

Chaque surface demandée à l'utilisateur est détaillée entre parenthèses ou dans une bulle *infomode* en complément de la dénomination générale pour éviter des confusions et questionnements.

Les FE de la construction prennent en compte la fabrication des matériaux, leur transport ainsi que la consommation de carburants sur le chantier et sont exprimés en kgCO₂-eq/m². Celui pour les bâtiments est spécialisé pour les établissements scolaires, celui utilisé pour le parking extérieur et la cour extérieure est le même : celui d'un parking classique. Trois parkings classiques sont disponibles selon le matériau utilisé (béton armé, semi-rigide, bitume). Ici, la moyenne des 3 types de parkings a été prise. Pour le préau, seul le matériau utilisé est pris en compte. Le matériau du préau en métal est considéré comme de la tôle, la plupart du temps en acier galvanisé [65]. Un FE de l'acier neuf au kg est disponible ainsi que celui de la galvanisation de l'acier au kg. La somme des deux donne un FE de l'acier galvanisé au kg. On le veut

en m^2 . Pour une épaisseur de tôle de 0.5 mm, l'acier galvanisé représente $4 \text{ kg}/m^2$ [66]. Le FE de tôle d'acier galvanisé en $kgCO_2\text{-eq}/m^2$ est donc obtenu en multipliant par 4 le FE de l'acier galvanisé par kg d'acier. Le matériau du préau en verre transparent est considéré comme du polycarbonate massif [67]. On a un FE du polycarbonate massif au kg. Pour un toit d'épaisseur de 4 mm, le polycarbonate massif représente $12 \text{ kg}/m^2$ [68]. Le FE de polycarbonate massif en $kgCO_2\text{-eq}/m^2$ est donc obtenu en multipliant par 12 le FE par kg de polycarbonate massif. Le FE pour les tuiles est quant à lui directement en $kgCO_2\text{-eq}/m^2$. un FE de changement d'affectation des sols est utilisé pour les terrains de sport. Il a été jugé cohérent de prendre le FE de changement d'affectation des sols le plus faible, c'est-à-dire celui de *culture vers sols imperméabilisés* car par terrain de sport, sont inclus, par exemple, des pistes d'athlétisme qui présentent un sol peu imperméabilisé. Les espaces verts tels que les parcs ou terrains de foot en herbe, ne sont pas considérés vu leur perméabilité.

Énergie

Ce sous-module consacré à l'énergie reprend toutes les consommations d'énergie de l'école incluant le chauffage, l'eau chaude sanitaire, la consommation d'électricité et la potentielle climatisation. Il est considéré que l'économe de l'école a accès aux données de consommation de combustible et d'électricité grâce aux factures. Il n'y a donc nul besoin de simplifier le questionnaire. Pour le chauffage, l'utilisateur peut remplir les données correspondantes au(x) moyen(s) de chauffage de l'école : le nombre de kWh de gaz avec **X-school-gas**, le nombre de litres de mazout avec **X-school-heating-oil**, les kWh ou mètres cubes de bois-pellets avec **X-school-heating-pellets** et les kWh ou mètres cubes de bois-plaquettes avec **X-school-heating-chips**. Les unités demandées pour le gaz et le mazout correspondent aux unités sur les factures [69][70]. L'entreprise *Coopeos* spécialisée dans les chaudières à bois pour les écoles utilisent des chaudières à bois-plaquettes et bois-pellets et facturent les combustibles en kWh d'eau chaude produite [71]. Chaque fournisseur ne fonctionne pas forcément comme *Coopeos*. L'utilisateur peut donc également remplir cette donnée en m^3 sachant qu'un mètre cube de bois-plaquette fournit 1050 kWh d'eau chaude et un mètre cube de bois-pellets fournit 3250 kWh [72]. La consommation d'électricité du réseau est demandée grâce à **X-school-elec**, également en kWh, unité sur la facture. Si l'école possède des panneaux solaires (demandé grâce à **D-PV-or-not**), seule la propre consommation de l'école via ces panneaux électriques est prise en compte. En effet, l'électricité envoyée sur le réseau non utilisée par l'école ne rentre pas dans le périmètre du bilan carbone de celle-ci. C'est pourquoi il est demandé la production annuelle des panneaux solaires grâce à **X-prod-PV** et si l'autoconsommation de cette production est connue ou non de l'école grâce à **D-knows-self-cons-fraction**. Si elle est connue, elle peut être encodée

via la variable **X-percentage-self-consumption-PV**. Si elle ne l'est pas, une valeur par défaut d'autoconsommation est attribuée : 25%. Si l'école dispose de la climatisation (demandé via **D-conditionning-or-not**), les pertes fugitives de fluides frigorigènes sont prises en compte grâce à la surface totale des pièces climatisées avec **X-conditionning-surface**. Les questions de l'énergie à l'école sont montrées à la Figure A.4, les conditions d'affichage de ces questions sont exposées sur la Figure A.5 et les variables de ce sous-module sont décrites sur le Tableau A.4.

Energie

D'un point de vue énergétique, le/l' Collège du Sacré-Coeur consomme au total sur une année (tous appareils confondus et toutes consommations confondues) :

- > 15 000 kWh d'électricité du réseau,
- > 25 000 kWh de gaz du réseau,
- > 0 litres de mazout/fioul domestique.
- > 0 kWh de bois-pellets.
- > 0 mètres cubes de bois-plaquettes.

> Next

Pour l'électricité, le/l' Collège du Sacré-Coeur bénéficie de panneaux photovoltaïques et connaît la fraction auto-consommée par l'école de l'électricité produite par les panneaux.

Sur une année, ces panneaux produisent 4 000 kWh et 20 % de cette production est consommée par l'école.

Le/L' Collège du Sacré-Coeur climatise tout ou une partie de ses espaces pour le confort des personnes.

L'ensemble des espaces climatisés représente 300 m².

Figure A.4 – Questions du sous-module Énergie.

Les FE des combustibles de chauffage prennent en compte l'amont des combustibles ainsi que la combustion elle-même. Le FE du gaz est celui du gaz naturel européen en kgCO₂-eq/kWh PCI. La valeur en kWh PCI a été choisie car elle représente une mesure plus réaliste quant au rendement réel de la combustion du gaz naturel. En effet, la valeur en kWh PCS inclut la chaleur latente de vaporisation et surévalue le rendement car une partie de la chaleur est perdue sous forme de vapeur d'eau. Le FE du mazout est celui du fioul domestique européen et ceux du bois-pellets et bois-plaquettes sont ceux qui correspondent à une combustion en chaudière. Il est également rappelé à l'utilisateur, grâce à un *infomode*, que s'il y a de l'eau chaude sanitaire

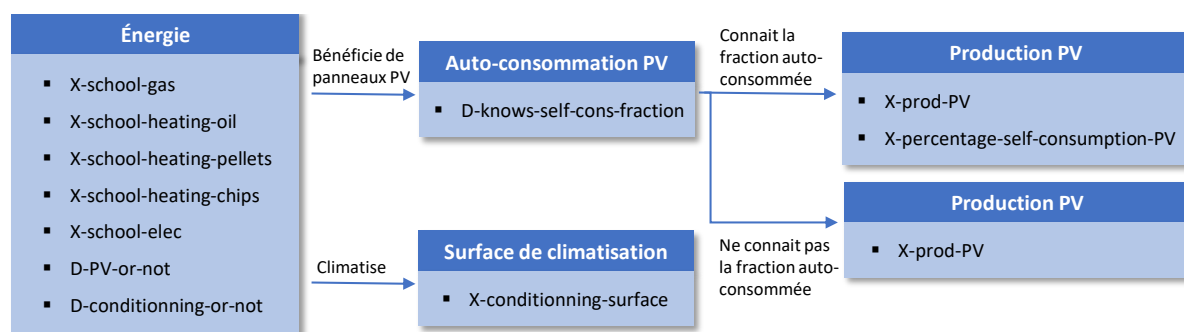


Figure A.5 – Conditions climatisation et panneaux solaires.

Table A.4 – Description des variables d'énergie.

Nom de la variable	Description
X-school-gas	consommation de gaz (kWh)
X-school-heating-oil	consommation de mazout (litres)
X-school-heating-pellets	consommation de bois-pellets (kWh)
X-school-heating-chips	consommation de bois-plaquettes (kWh)
X-school-elec	consommation d'électricité (kWh)
D-PV-or-not	possession de panneaux solaires (bénéficie, ne bénéficie pas)
X-prod-PV	production annuelle des panneaux solaires (kWh)
D-knows-self-cons-fraction	connaissance de l'autoconsommation via PV (connait, ne connait pas)
X-percentage-self-consumption-PV	fraction autoconsommée de la production électrique via PV (%)
D-conditionning-or-not	climatisation ou pas (climatise, ne climatise pas)
X-conditionning-surface	surface des espaces climatisés (m ²)

dans l'école, elle est peut-être, voire sûrement, produite via un autre moyen que celui utilisé pour le chauffage et qu'il faut donc penser à inclure cette consommation aussi.

Demander les kWh d'électricité permet de prendre en compte la totalité de la consommation d'électricité de tous les appareils de l'école. Le FE de l'électricité est celui du mix moyen belge et prend en compte la production moyenne annuelle de cette électricité. Ce FE ne prend cependant pas en compte les pertes sur le réseau électrique. C'est pourquoi, pour prendre ces pertes en compte, il a été multiplié par un facteur 1.05 car il y a 5 % de pertes sur le réseau électrique belge [73].

Le FE de la production d'électricité grâce à des panneaux solaires prend en compte l'impact environnemental de la fabrication du panneau par rapport à la quantité d'électricité que le panneau solaire est capable de produire sur toute sa durée de vie, supposée à 25.2 ans par

l'ADEME. La production des panneaux solaires de l'école est multipliée par la fraction auto-consommée de l'école pour avoir la consommation électrique photovoltaïque de l'école et puis multipliée par le FE de la production électrique photovoltaïque avec des panneaux européens pour avoir le poids carbone de cette consommation électrique. Si l'utilisateur ne connaît pas la fraction autoconsommée de sa production via les panneaux solaires, elle est supposée à 25%. la Wallonie estime la fraction autoconsommée des ménages à 37.76% [50]. Les écoles, contrairement aux ménages, sont occupées (et donc consomment) pendant la journée, au même moment que la production d'électricité par les panneaux solaires. Il est alors facile de croire que la fraction autoconsommée de l'école est supérieure à celles des ménages. Cependant, il n'y a finalement que 182 jours d'école soit un peu moins de 50% du total de l'année. La fraction autoconsommée, vu le taux d'occupation, est donc fortement diminué. Cette diminution est renforcée par le fait que le pic de production des panneaux a lieu en Juillet et en août, période à laquelle l'école est inoccupée. C'est pourquoi il a été jugé cohérent d'estimer la fraction autoconsommée des écoles à 25%.

Les pertes fugitives dues à la climatisation sont prises en compte à partir de la surface des espaces climatisés de l'école. Selon l'ADEME [51], il faut 9 kg de fluide frigorigène pour un système standard air-air, avec un taux de perte annuel de 10%. 25 m² de climatisation nécessite un système standard air-air [52]. On considère un fluide frigorigène typique : du 410A. Cela donne un FE de $9 \text{ [kg de 410A]} * \frac{0.1[-]}{25[m^2]} * 1924000 \text{ [gCO}_2\text{-eq/kg de 410A]} = 69264 \text{ gCO}_2\text{-eq/m}^2$.

De plus, deux bulles *infomode* permettent à l'utilisateur de comprendre ce qui est pris en compte dans les questions sur les panneaux solaires et la climatisation.

Déplacements employés domicile-travail

Ce sous-module est consacré aux déplacements professionnels des employés de l'école. En effet, ces employés sont utiles au bon fonctionnement de l'école et comme expliqué au début de cette sous-section A.1.3, l'empreinte carbone de l'école est répartie entre chacun de ses élèves.

Pour simplifier la collecte de données du professeur en charge des élèves, utilisateurs de l'outil, il a été jugé cohérent de ne demander que des ordres de grandeur et des estimations pour les déplacements des employés de l'école. En effet, les données approximatives que doit recueillir ou estimer le professeur sont le nombre d'employés avec **X-employee-number**, la distance moyenne d'un trajet domicile-école avec **X-distance-school-home-employee** ainsi que la proportion d'employés utilisant tel ou tel mode de transport. Les questions de ce sous-module sont exposées sur la Figure A.6 et la description des variables sur le Tableau A.5.

Déplacements employés

Le/L' Collège du Sacré-Coeur compte **100** employés (administration, direction, professeurs, éducateurs, cuisiniers, techniciens de surface, ouvriers...). Selon notre estimation, les employés habitent en moyenne à une distance de **30** km de l'école. Nous estimons également que ces 100 répartissent de cette façon leur mode de transport pour aller et revenir de l'école :

- > **4** % covoiturent à 2 ou +,
- > **60** % viennent seuls en voiture,
- > **2** % viennent en moto,
- > **18** % prennent le train,
- > **10** % prennent le bus,
- > **3** % prennent principalement le tram ou le métro,
- > **0** % viennent en vélo électrique,
- > 3 % viennent à pied ou en vélo musculaire.

[> Next](#)

Figure A.6 – Questions du sous-module Déplacements employés domicile-travail.

Les modes de transport proposés couvrent un ensemble de possibilités de mobilité assez exhaustif et représentatif. La variable **X-footbike-percentage** n'est pas à remplir par l'utilisateur car elle est directement calculée en soustrayant les autres pourcentages. Cela permet à l'utilisateur d'avoir toujours un total de 100%. S'il dépasse 100%, la variable **X-footbike-percentage** est alors négative et le texte devient rouge pour lui montrer son erreur. De plus, vu que venir en vélo musculaire ou à pied n'émet aucune émission de GES, ne pas afficher ces modes de transport pourrait sembler envisageable. Cependant, si un pourcentage d'utilisateurs par mode de transport est demandé, inclure tous les modes de transport est primordial afin d'avoir 100% au total.

Le poids carbone est calculé en multipliant le nombre d'employés par la distance moyenne de leur trajet, le nombre de jours d'écoles sur l'année, le facteur pourcentage lié au mode de transport ainsi que le FE par mode de transport au km correspondant. Cette valeur est ensuite partagée entre tous les élèves. Le nombre de jours d'école sur une année est fixe en Fédération Wallonie-Bruxelles et est de 182 jours [74]. Vu les estimations de l'utilisateur quant aux réponses fournies, il n'a pas été jugé utile de détailler le type de voiture utilisée. Un FE pour une voiture moyenne belge n'existant pas dans la base de données de l'ADEME, un nouveau facteur a été

Table A.5 – Description des variables de déplacements des employés.

Nom de la variable	Description
X-employee-number	nombre d'employés
X-distance-school-home-employee	estimation de la distance moyenne domicile-travail des employés
X-carpool-percentage	pourcentage d'employés utilisant le covoiturage (%)
X-car-percentage	pourcentage d'employés utilisant une voiture seuls (%)
X-moto-percentage	pourcentage d'employés utilisant une moto (%)
X-train-percentage	pourcentage d'employés utilisant le train (%)
X-bus-percentage	pourcentage d'employés utilisant le bus (%)
X-tram-percentage	pourcentage d'employés utilisant le tram ou le métro (%)
X-elecbike-percentage	pourcentage d'employés utilisant un vélo électrique (%)
X-footbike-percentage	pourcentage d'employés venant à pied ou en vélo musculaire (%)

estimé grâce aux données du parc automobile belge ainsi qu'aux FE au km par motorisation de l'ADEME [75]. Après calculs, le FE d'une voiture moyenne belge est de 228gCO₂-eq/km. C'est une valeur cohérente, la voiture moyenne française renseignée par l'ADEME émet 231gCO₂-eq/km. La répartition par motorisation du parc automobile belge est montrée à titre informatif à la Figure A.7.

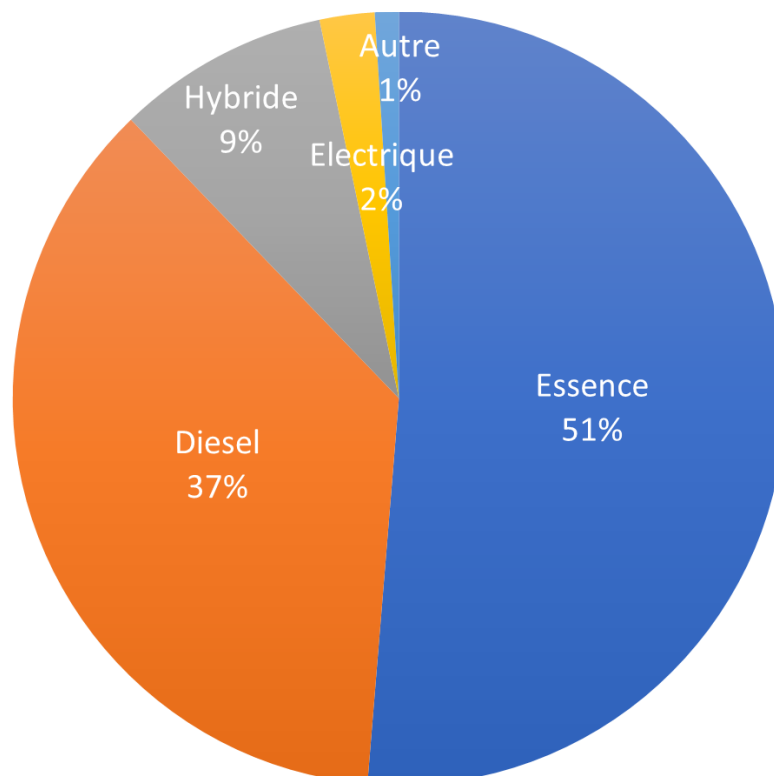


Figure A.7 – Répartition du parc automobile belge par motorisation.

Pour le covoiturage, Les émissions sont partagées entre les passagers utiles. On estime que la plupart des employés d'une école qui font du covoiturage sont 2 dans la voiture mais ça peut

arriver qu'ils soient 3 ou 4. Une valeur arbitraire pour le nombre de passagers moyen par voiture d'employés d'une école a été choisie et évaluée à 2.2. Le FE de la voiture moyenne belge a été utilisé pour le covoiturage également et divisé par 2.2 pour avoir les émissions par employé. Un FE des bus en Wallonie a été calculé à partir des données de la flotte de bus de la TEC [76] et des FE de bus par motorisation de l'ADEME. 70% des bus de la TEC roulent au diesel et 30% sont hybrides. Le FE des bus est alors de 101gCO₂-eq/passager·km. Les autres FE sont trouvés tels quels sur la base de données de l'ADEME.

Achats

Ce sous-module reprend tous les achats et équipements de l'école incluant les meubles, le matériel informatique, le nombre de feuilles de papier et le matériel pour le cours de sport. Les questions des achats sont exposées sur les Figures A.8 et A.9 et la description des variables sur le Tableau A.6.

Table A.6 – Description des variables Achats.

Nom de la variable	Description
X-chairs-school-number	nombre de chaises
X-office-school-number	nombre de tables et bureaux
X-cupboard-school-number	nombre d'armoires
X-furniture-lifetime	durée de vie moyenne des meubles
X-fixed-computer	nombre d'ordinateurs fixes
X-PC	nombre d'ordinateurs portables
X-tablet	nombre de tablettes
X-printer	nombre d'imprimantes de bureau
X-photocopier	nombre de photocopieurs professionnels
X-projector	nombre de projecteurs
X-screen	nombre d'écrans interactifs
X-TV	nombre de télévisions
X-wifi	nombre de modems wifi
X-school-tech-lifetime	durée de vie moyenne du matériel informatique
X-paper-sheets	nombre de ramettes de 500 feuilles de papier
X-ball	nombre de ballons
X-hoop-goal	nombre de paniers de basket ou goals de foot
X-sport-shirts	nombre de vareuses de sport
X-module	nombre de modules de barres parallèles/fixes/asymétriques
X-mats	nombre de tapis de gym
X-bikebuy	nombre de vélos
X-school-sport-lifetime	durée de vie moyenne du matériel de sport

Pour obtenir le poids carbone de chaque équipement, le nombre d'équipement d'un type est multiplié par le FE qui lui est associé en gCO₂-eq/unité et divisé ensuite par la durée de

Achats

Le/L' Collège du Sacré-Coeur possède environ **1 500** chaises, **800** tables/bureaux et **70** armoires. Ceux-ci sont en moyenne renouvelés tous les **15** ans. 

Dans l'ensemble des locaux de l'école se trouvent et peuvent être utilisés par les employés ou les élèves :

- > **40** ordinateurs fixes,
- > **100** ordinateurs portables, 
- > **60** tablettes,
- > **10** imprimantes de bureau,
- > **5** photocopieurs professionnels tout en un,

> Next

- > **15** projecteurs,
- > **3** écrans interactifs,
- > **10** télévisions,
- > **10** modems wifi.

En moyenne, l'école change ces équipements tous les **10** ans.

Sur une année, l'école achète environ **3 000** ramettes de 500 feuilles de papier.

Figure A.8 – Questions du sous-module Achats.

vie moyenne de ce type d'équipement. Le poids de chaque équipement de l'école est ensuite partagé entre tous les élèves. Le choix de proposer une seule durée de vie moyenne par type d'équipement (meubles, matériel informatique et matériel de sport) permet de simplifier le calculateur, réduire le nombre de réponses de l'utilisateur et donc réduire le temps de remplissage du questionnaire vu le nombre déjà élevé de réponses à encoder dans ce sous-module. Certains équipements ont un poids carbone très faible par rapport aux autres équipements dans une école, il pourrait être envisageable de supprimer certains équipements non représentatifs pour réduire le temps de remplissage du questionnaire.

Le FE d'une table représentative a été choisi pour représenter les tables et les bureaux de l'école. Le FE de l'armoire représentative de la base de données de l'ADEME est d'un ordre de grandeur 15 fois supérieur à celui de la table représentative, ce qui paraît énorme. Cela est dû

Dans le cadre du cours de sport, l'école possède :

- > 150 ballons (de football, basket, volleyball, handball compris),
- > 6 paniers de basket et/ou goals de football,
- > 100 vareuses pour différencier les équipes,
- > 3 modules de barres parallèles/fixes/asymétriques,
- > 30 tapis de gymnastique (peu importe la taille),
- > 30 vélos.

En moyenne, l'école change ces équipements de sport tous les 10 ans.

Figure A.9 – Questions du sous-module Achats.

entre autres au poids de 300 kg de cette armoire représentative. Il a été décidé, comme cela était le cas pour le *calculateur Étudiant* [38], de diviser ce FE par 3 pour avoir une armoire représentative de plutôt 100 kg. Les autres FE sont tels quels dans la base de données de l'ADEME ou alors une moyenne a été effectuée, par exemple pour les ballons qui sont référencés par type de ballon dans la base de données. Par ailleurs, les photocopieurs professionnels et imprimantes de bureau sont séparés. En effet, les photocopieurs de grande taille qu'utilisent les professeurs pour imprimer leurs copies émettent presque 20 fois plus que des petites imprimantes de bureau. Il est également primordial de demander le nombre de feuilles de papier sachant qu'une école secondaire de 1050 élèves du centre de Charleroi a utilisé sur l'année académique 2022-2023 près de 1.5 million de feuilles, cela représente 3000 ramettes de papier ou 1500 feuilles par élève, soit presque 7 tCO₂-eq pour cette école [77].

De plus, 2 bulles *infomode* permettent à l'utilisateur de comprendre l'amortissement des biens achetés ainsi que la prise en compte des ordinateurs portables des professeurs ou non.

Déchets

Ce sous-module reprend la plupart du traitement des déchets de l'école, ce qui est confié aux services de ramassage et au recyparc. Cela inclut les ordures ménagères avec **X-household-waste**, les papiers/cartons avec **X-paper-waste**, les PMC avec **X-PMC-waste**, le verre avec **X-glas-waste** et éventuellement les déchets organiques s'ils ne sont pas jetés avec les ordures

ménagères. Sur la Figure A.10 sont montrées les questions de ce sous-module. les conditions d’affichage sont sur la Figure A.11 et la description des variables sur le Tableau A.7.

Déchets

Sur une année, l'école confie aux services de ramassage et recyparc environ :

- > 6 000 kg d'ordures ménagères,
- > 1 000 kg de papier et carton,
- > 1 000 kg de PMC,
- > 300 kg de verre.

Les déchets organiques sont jetés dans un container dédié .i

Il y a environ 600 litres de déchets organiques (une petite poubelle composte = +/- 20 litres, un seau = 10 litres) par an.

Figure A.10 – Questions du sous-module Déchets.

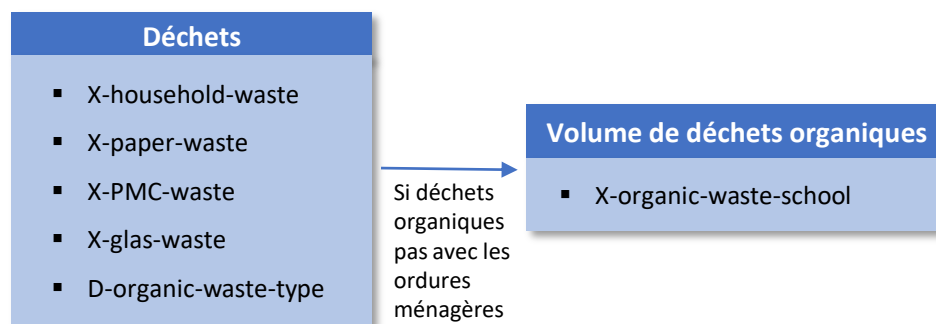


Figure A.11 – Conditions Déchets à l’école.

Les déchets usuels sont demandés en kg, ce qui semblait à la base être l’unité figurant sur les factures de l’école. Cependant, les tests ont montré ensuite que ces données étaient plutôt en litres comme expliqué au Chapitre 4. L’école a donc normalement accès à ces données. Les déchets de bois et de métaux n’ont pas été demandés car les données sont trop compliquées à collecter. Les FE choisis sont ceux de fin de vie moyenne par kg et par type de déchets.

Le volume de déchets organiques est demandé s’ils ne sont pas mis avec les ordures ménagères. L’unité est donc en litres, ce qui correspond à l’unité de la facture s’ils sont collectés par un gestionnaire de déchets [59]. Dans le cas d’un compost, la demande en litres convient également. L’utilisateur peut avoir une vague idée du volume par an grâce aux correspondances avec des tailles de poubelle connues : 20 litres pour un petit container/petite poubelle composte

Table A.7 – Description des variables Déchets.

Nom de la variable	Description
X-household-waste	poids des ordures ménagères (kg)
X-paper-waste	poids de déchets papiers/cartons (kg)
X-PMC-waste	poids de déchets PMC (kg)
X-glas-waste	poids de déchets verre (kg)
D-organic-waste-type	façon de jeter les déchets organiques (avec les ordures ménagères, dans un container dédié, dans des sacs biodégradables, dans un compost)
X-organic-waste-school	volume de déchets organiques (litres)

et 10 litres pour un seau. Les FE sont en kg. Il y a environ 300g de déchets verts par litre [60], un facteur de 3/10 a donc été appliqué au calcul de poids carbone. Les FE des déchets organiques sont séparés en FE *compostage industriel* et en *compostage domestique* selon la façon de jeter ces déchets. Le Tableau A.8 ci-dessous reprend les FE choisis selon la façon de jeter ces déchets organiques.

Table A.8 – Choix du FE pour les déchets organiques.

Façon de jeter les déchets organiques	Facteur d'émission choisi
dans un container dédié	compostage industriel (140gCO ₂ -eq/kg)
dans des sacs biodégradables	compostage industriel (140gCO ₂ -eq/kg)
dans un compost	compostage domestique (28gCO ₂ -eq/kg)

A.1.4 Déplacements pour l'école

Ce module reprend tous les trajets que réalisent l'élève dans le cadre scolaire : les trajets domicile-école, les vacances scolaires, les sorties scolaires ainsi que les déplacements pour le cours de sport. Ces déplacements sont propres à l'élève qui répond au test car tous les élèves d'une même classe ne vont pas forcément aux mêmes voyages scolaires, sorties scolaires et cours de sport.

Les émissions de GES sont d'une part des émissions directes dues à la combustion du carburant et d'autre part, des émissions indirectes dues à la production du carburant et des véhicules utilisés ainsi que leur acheminement jusqu'au lieu d'acquisition du consommateur.

Trajets domicile-école

Ce sous-module reprend tous les trajets domicile-école de l'élève. La question est basée sur les trajets d'une semaine type, 2 trajets par jour pendant 5 jours, du lundi au vendredi. L'utilisateur doit d'abord dire au système s'il utilise un seul ou plusieurs moyens de transport pour ses trajets domicile-école. La question affichée ensuite dépend de sa réponse. Cela évite à ceux qui ne prennent qu'un seul moyen de transport de perdre du temps. Sur la Figure A.12 sont exposées les questions, sur la Figure A.13 les conditions de ces questions et dans le Tableau A.9 la description des variables de ce sous-module *Trajets domicile-école*.

Trajets domicile-école

Sur une semaine type, mes trajets pour aller et revenir de l'école se font avec **un** moyen(s) de transport.

Tous mes trajets sont réalisés **en voiture**, sur une distance de **20** km. **i**

La voiture principalement utilisée est **un véhicule compact (ex. Peugeot 308, Golf, Audi A3, BMW série 1...)** avec une motorisation **hybride rechargeable** et nous sommes habituellement **2** élève(s) dedans. **i**

Figure A.12 – Questions du sous-module Trajets domicile-école.

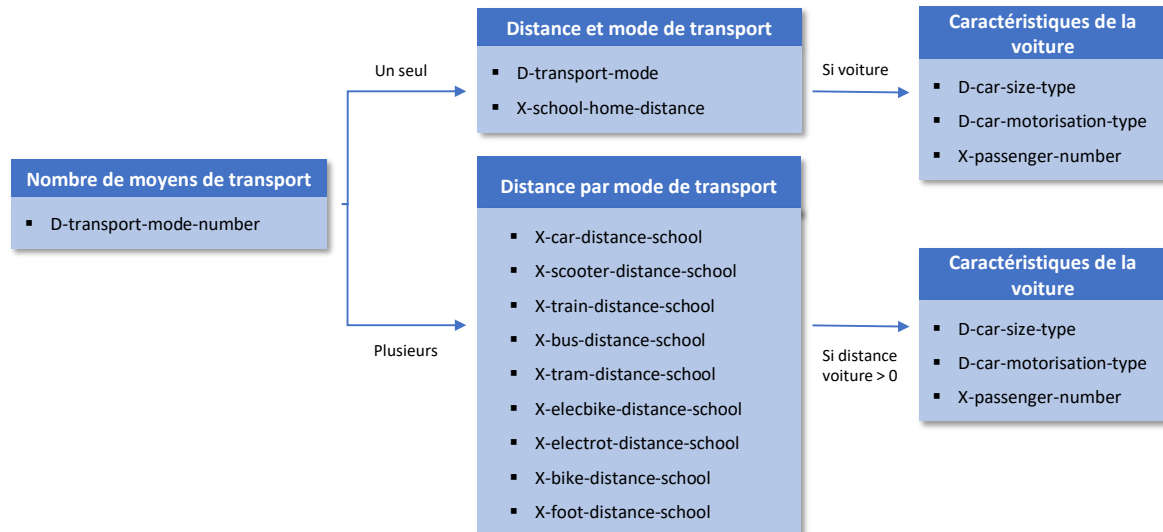


Figure A.13 – Conditions Trajets domicile-école.

L'idée générale pour calculer l'empreinte carbone des trajets domicile-école est de retrouver le nombre parcouru de km par jour d'école (2 fois le trajet aller si un mode de transport ou le nombre de km d'une semaine type divisé par 5 si plusieurs mode de transport), de le multiplier par le nombre de jours d'école dans l'année (182 jours [74]) et par le FE au km associé au type de véhicule utilisé (ou FE au km·passager si le véhicule est un transport en commun).

Table A.9 – Description des variables Déplacements domicile-école.

Nom de la variable	Description
D-transport-mode-number	nombre de moyens de transport d'une semaine type (un, plusieurs)
D-transport-mode	mode de transport utilisé (en voiture, en scooter, en train, en bus, en tram/métro, en vélo électrique, en trottinette électrique, en vélo musculaire, à pied)
X-school-home-distance	distance domicile-école
D-car-size-type	type de voiture utilisée (une petite citadine légère, un véhicule compact, une berline ou un monospace, un SUV ou une berline haut de gamme)
D-car-motorisation-type	type de motorisation de la voiture (essence, diesel, LPG, CNG, hybride, hybride rechargeable, électrique)
EST-car-consumption-l-100km	estimation de la consommation de la voiture par type et motorisation
X-passenger-number	nombre d'élèves dans la voiture
X-car-distance-school	distance faite en voiture par semaine
X-scooter-distance-school	distance faite en scooter par semaine
X-train-distance-school	distance faite en train par semaine
X-bus-distance-school	distance faite en bus par semaine
X-tram-distance-school	distance faite en tram par semaine
X-elecbike-distance-school	distance faite en vélo électrique par semaine
X-electrot-distance-school	distance faite en trottinette électrique par semaine
X-bike-distance-school	distance faite en vélo musculaire par semaine
X-foot-distance-school	distance faite à pied par semaine

Lorsque des trajets sont réalisés en voiture, plusieurs précisions sont demandées : le type de voiture grâce à **D-car-size-type**, le type de motorisation de cette voiture avec **D-car-motorisation-type** ainsi que le nombre d'élèves dans cette voiture avec **X-passenger-number**. Peu de jeunes entre 15 et 18 possèdent des véhicules. Les seuls véhiculent qu'ils pourraient posséder et conduire sont des cyclomoteurs ou des voitures dites "sans permis". C'est pourquoi il a été jugé cohérent de compter dans l'empreinte carbone de l'élève la construction du véhicule par rapport aux kilomètres parcourus et non sur la possession d'un véhicule. Il est également précisé à l'utilisateur que le nombre de passagers dans la voiture est le nombre de passagers pour qui le trajet est utile, c'est-à-dire, le nombre d'élèves seulement, sauf si le trajet est utile à l'adulte conducteur.

Les FE de l'ADEME pour les moteurs hybrides, hybrides rechargeables et électriques sont renseignés par type de véhicule et par motorisation. Ces FE au km prennent en compte

la construction du véhicule, l'amont du carburant/de l'électricité ainsi que la combustion du carburant. Les FE choisis pour ces voitures à motorisations hybrides, hybrides rechargeables et électriques sont donc directement pris de la base de données. Pour les voitures à motorisation essence, diesel, CNG ou LPG, les FE de l'ADEME ne distinguent pas le type de voiture. Il y a juste un FE moyen par motorisation. C'est pourquoi, pour ces véhicules à carburants fossiles, ont été pris en compte la fabrication de la voiture ainsi que l'amont du carburant par km parcouru selon les FE moyens par motorisation. Donc, le système modélise la construction d'une petite citadine comme pareille à celle d'un SUV. Cependant, pour ces voitures à combustible fossile, c'est la combustion du carburant qui exerce une influence prédominante sur l'empreinte carbone. C'est pourquoi, pour ces véhicules, les émissions de GES dues à la combustion de carburant par type de voiture et par motorisation ont été ajoutées à celles par motorisation moyenne seulement de la construction et l'amont du carburant. Les données de consommation par litre aux 100 km par type de véhicule et par motorisation proviennent des chiffres établis par M. Marichal dans le *calculateur individuel* [37]. La variable **EST-car-consumption-l-100km** est calculée par le système en fonction des choix de l'utilisateur pour le type et la motorisation de la voiture et permet, via les FE de combustion des carburants au litre (essence, diesel, LPG) ou au kg (CNG) de retrouver l'empreinte carbone au km de la combustion de carburant de la voiture utilisée.

Tous les autres FE sont directement pris de la base de données de l'ADEME à part celui des bus. Celui-ci est pareil à celui de la sous-section A.1.3 et a déjà été expliqué. De plus les allers et retours à pied ou en vélo musculaire n'émettent pas de CO₂. Cependant, ces options sont tout de même présentées afin que l'utilisateur s'y retrouve et ne soit pas choqué que son mode de transport bas carbone ne soit pas repris.

Voyages scolaires

Ce sous-module reprend les trajets des voyages scolaires auxquels l'élève a participé ou participera pendant l'année scolaire en cours. On suppose que les destinations et moyens de transport sont connus bien à l'avance ou peuvent être estimés facilement si le voyage n'est pas encore passé. L'utilisateur doit d'abord donner le nombre de voyages qu'il a fait ou fera dans l'année grâce à la variable **X-school-trips-number**. Cela permet ensuite d'afficher le nombre de questions correspondant au nombre de voyages. Sur la Figure A.14 sont exposées les questions sur les voyages scolaires, sur la Figure A.15, les conditions d'affichage de ces questions et dans le Tableau A.10, la description des variables à remplir. Par soucis de lisibilité et parce que les variables des voyages sont pareilles au nom près, seules celles du premier voyage sont décrites. La limite maximale du nombre de voyages scolaires a été fixée arbitrairement à 4 voyages sur une année scolaire, ce qui paraît raisonnable.

Voyages scolaires

Cette année, je pars **2** fois en voyage scolaire où nous passons au moins une nuit sur place.

> Pour le premier voyage, nous faisons la majorité du trajet **en voiture**, **sur une distance de 200** km (aller).

Nous sommes **3** élève(s) dans la voiture (ne compter le conducteur que si c'est un accompagnateur du voyage).

> Pour le deuxième voyage, nous faisons la majorité du trajet **en avion**, **pendant 2** heures (en comptant le temps de trajet aller, sans compter l'attente éventuelle dans les différentes plateformes).

Figure A.14 – Questions du sous-module Voyages scolaires.

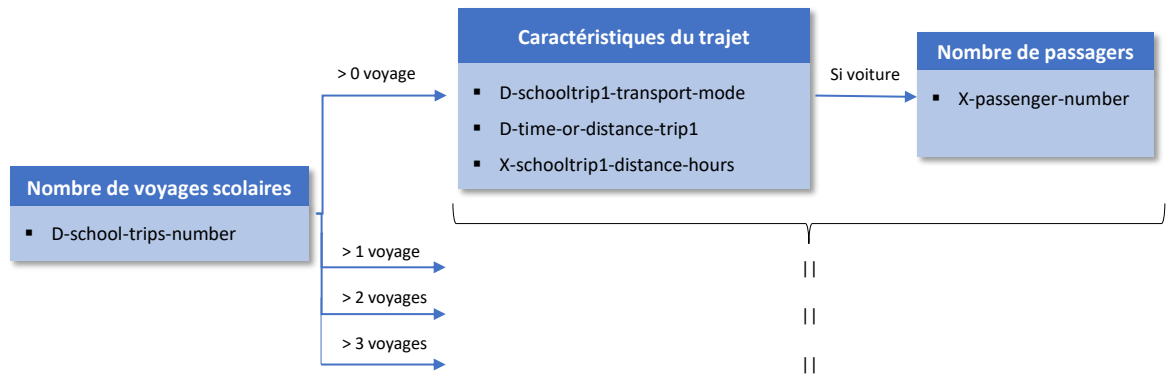


Figure A.15 – Conditions Voyages scolaires.

Les utilisateurs ont la possibilité de donner directement la distance du trajet mais également le temps que le trajet a pris grâce à la variable **D-time-or-distance-trip1**. En effet, il s'avère que les élèves de 15 à 18 ans ont parfois beaucoup de mal à estimer les distances de leurs voyages. Le temps de trajet est alors plus facile à estimer pour eux. Lorsqu'ils préfèrent utiliser le temps de trajet, le système retransforme ce temps de trajet en distance en km grâce à des hypothèses de vitesses moyennes selon le mode de transport. Vous pouvez observer dans le Tableau A.11 ci-dessous les hypothèses de vitesse moyenne.

Si le trajet est réalisé en voiture, ce qui est rare dans le cadre de voyages scolaires, il n'est pas proposé à l'utilisateur de détailler le type de voiture et la motorisation parce qu'il a plus difficilement accès à ces données, surtout si le voyage n'est pas encore passé ou s'il fait du covoiturage et part avec la voiture d'un camarade de classe. Le FE utilisé est donc celui de la voiture moyenne belge expliqué au sous-module A.1.3. Cependant, les émissions sont bien divisées par le nombre d'élèves dans la voiture grâce à la variable **X-passengertrip1-number**. Il est précisé à l'utilisateur de ne pas tenir compte du conducteur dans ce cas sauf si c'est un accompagnant du voyage.

Table A.10 – Description des variables Voyages scolaires.

Nom de la variable	Description
X-school-trips-number	nombre de voyages scolaires
D-schooltrip1-transport-mode	mode de transport utilisé (en bus/car, en avion, en TGV, en train, en voiture, en vélo , à pied)
D-time-or-distance-trip1	réponse en temps ou en distance (sur une distance de, pendant)
X-schooltrip1-distance-hours	distance ou temps de trajet aller
X-passengertrip1-number	nombre d'élèves dans la voiture

Table A.11 – Hypothèses de vitesse moyenne selon le mode de transport. (1) vitesses moyennes basées sur les sources suivantes [78-81].

Mode de transport	Hypothèses de vitesse moyenne [km/h] ⁽¹⁾
voiture	120
autocar	100
avion	900
TGV	300
train	80

Le poids carbone est calculé en multipliant le nombre de km du voyage aller par 2 et par le FE associé au mode de transport. Dans le cas de la voiture non conduite par un accompagnant, on pourrait compter 4 voyages, c'est-à-dire 2 allers-retours du parent conducteur. Cependant, c'est une forte hypothèse de dire que les parents font deux fois l'aller-retour. Si on le fait pour la voiture, on pourrait le faire peut-être pour l'autocar également, car il fait parfois aussi plusieurs allers-retours. Ce sont de fortes hypothèses, il a donc été jugé cohérent de ne prendre que les trajets réellement réalisés par l'élève, c'est-à-dire un aller-retour, malgré les possibles autres trajets effectués dans le cadre du voyage scolaire sans transporter l'élève.

Le FE de l'avion est la moyenne des FE court-courrier (0-1000km) avec trainées et moyen-courrier (1000-3500km) avec trainées. Les voyages scolaires ne sont en effet généralement pas de longs courriers [82]. Les autres FE sont trouvés directement dans la base de données de l'ADEME.

Sorties scolaires

Ce sous-module reprend les déplacements des sorties scolaires de l'élève ainsi que ses déplacements dans le cadre du cours de sport. Le questionnaire est exposé à la Figure A.16 et la description des variables sur le Tableau A.12.

Sorties scolaires

Cette année, je pars **5** fois en sortie scolaire (pas de nuit sur place). Pour y aller, nous faisons la majorité des trajets **en bus/car**. La sortie scolaire se trouve en moyenne à une distance de **40** km (aller).

Cette année, dans le cadre du cours de sport, nous allons **12** fois à l'extérieur (piscine, bois, salle de sport extérieure...). Pour y aller, nous faisons la majorité des trajets **en bus/car**. La sortie sportive se trouve en moyenne à une distance de **15** km (aller).

Figure A.16 – Questions du sous-module Sorties scolaires.

Table A.12 – Description des variables Sorties scolaires.

Nom de la variable	Description
X-school-outings-number	nombre de sorties scolaires
D-school-outings-transport-mode	type de transport majoritaire pour les sorties scolaires (en bus/car, en train, en vélo, à pied)
X-school-outings-mean-distance	distance moyenne d'un trajet en sortie scolaire
X-sport-outings-number	nombre de sorties sportives
D-sport-outings-transport-mode	type de transport majoritaire pour les sorties sportives (en bus/car, en train, en vélo, à pied)
Q-sport-outings-mean-distance	distance moyenne d'un trajet en sortie sportive.

Le poids carbone de ces déplacements est calculé à partir du nombre de sorties (doublé pour compter l'aller-retour), du moyen de transport le plus emprunté pour ces sorties (avec le FE correspondant) ainsi que la distance moyenne du trajet. Demander la distance moyenne des trajets est assez imprécis. Cependant, cela permet à l'utilisateur de mettre une simple estimation de distance car il n'a pas accès directement à ces données et cela prendrait trop de temps de les collecter. En effet, l'élève ne sait peut-être pas encore quelles vont être les destinations de ses futures sorties scolaires ou ne sait pas à quelle distance elles se trouvent. Demander une estimation du trajet moyen est un choix plus judicieux ici. Le système suppose également que les moyens de transport de ces sorties ne sont ni l'avion, ni la voiture, ni le TGV, ce qui paraît cohérent pour des sorties de moins de 1 jour dans le cadre scolaire.

A.1.5 Consommation à l'école

Ce module reprend les consommations de l'élève dans le cadre scolaire, en particulier son alimentation à l'école et ses achats de matériel scolaire. Séparer l'alimentation à l'école de l'alimentation à la maison permet à l'élève de bien séparer la vie scolaire du cadre familial. En effet, il a peut-être un pouvoir de décision plus fort sur ce qu'il mange à l'école que sur ce qu'il mange à la maison. Les résultats finaux sont affichés en fonction de chaque module et il pourra

ainsi distinguer directement ses émissions personnelles à l'école de celles à la maison.

Alimentation à l'école

Ce sous-module reprend l'alimentation annuelle de l'élève à l'école, incluant ses 4 repas du midi d'une semaine type, les boissons industrielles qu'il y consomme venant de chez lui ou d'un distributeur à l'école ainsi que ses collations et/ou ses desserts. Le questionnaire de l'*Alimentation à l'école* est disponible à la Figure A.17 et la description des variables sur le Tableau A.13.

Alimentation

Sur les 4 repas du midi d'une semaine type à l'école, je mange :

- > 2 fois du pain avec de la charcuterie et/ou du fromage,
- > -- fois du pain avec garniture végétale,
- > -- repas végétaliens (sans produits d'origine animale),
- > -- repas végétariens 'léger' (sans chair animale mais avec des oeufs, un peu de fromage...),
- > -- repas végétariens 'moyen', c'est-à-dire une quantité moyenne de produits animaliers (>150g fromage, > 3 oeufs...),

- > 1 repas avec une pièce de viande blanche (volaille, porc...),
- > -- repas avec une pièce de viande rouge (boeuf, veau, agneau...),
- > -- repas avec du poisson,
- > 1 fois une barquette de frites ou une part de pizza,

et je saute 0 repas.

A l'école, je bois par semaine environ 2 boissons industrielles en canette, bouteille ou berlingot (eaux, sodas, jus...).

Mes collations ou desserts à l'école sur une semaine type, en plus du repas du midi sont constitués de 1 fruit(s) local, 1 fruit(s) non local, 3 biscuits, barres chocolatées, gauffres etc. emballés.

> Next

Figure A.17 – Questions du sous-module Alimentation à l'école.

Pour obtenir le poids carbone des midis de tous les jours d'école d'une année scolaire, il faut d'abord savoir combien de repas du midi prend un élève sur une année scolaire. Il y a

Table A.13 – Description des variables Alimentation à l'école.

Nom de la variable	Description
X-meat-cheese-bread-school	repas pain charcuterie et/ou fromage
X-vegan-bread-school	repas pain avec garniture végétale
X-vegan-hard-school	repas végétaliens
X-vegan-light-school	repas végétariens "léger"
X-vegan-mid-school	repas végétariens "moyen"
X-chicken-school	repas avec une pièce de viande blanche
X-redmeat-school	repas avec une pièce de viande rouge
X-fish-school	repas avec du poisson
X-fries-pizza	repas composé d'une barquette de frites ou une part de pizza
X-miss-lunch-school	nombre de repas manqués
X-indus-drink-school	nombre de boissons industrielles
X-local-fruit-school	nombre de fruits locaux
X-non-local-fruit-school	nombre de fruits non locaux
X-sweet-snacks	nombre de collations sucrées

182 jours d'école sur l'année [74]. Cependant, les élèves ne mangent pas à l'école le mercredi midi qui est compté comme un jour d'école. On imagine que le nombre de jours d'école est réparti uniformément par jour de la semaine d'école (du lundi au vendredi). Il y a donc environ $\frac{182}{5} = 36.4 = +/- 36$ mercredis parmi les jours d'école. Il y a donc $182 - 36 = 146$ repas du midi à l'école.

Pour simplifier le remplissage du questionnaire, l'élève rentre ses données d'alimentation sur les 4 repas d'une semaine-type et non sur ces 146 midis à l'école. Chaque émission due à un repas est donc divisée par 4 pour avoir l'émission par jour du repas et est ensuite multiplié par 146 pour avoir les émissions totales de ce repas du midi à l'école sur l'année. En additionnant comme cela les 4 repas, les émissions totales de tous ses repas du midi à l'école sont bien comptabilisées.

L'utilisateur a le choix entre 9 types de repas, ce qui couvre une large plage de repas que peut manger un élève à midi. Les repas *repas pain charcuterie et/ou fromage*, *repas pain avec garniture végétale* et *repas composé d'une barquette de frites ou une part de pizza* correspondent spécialement à des repas que pourraient manger un élève à l'école à midi. Les autres repas sont des repas complets plus génériques. Les distinctions de ces repas sont faites en fonction des fortes différences d'émissions de GES que ces repas émettent. Par exemple, les repas carnés émettent largement plus que ceux non carnés, et parmi les carnés ceux avec une viande blanche émettent bien moins que ceux avec de la viande rouge. Des repas végétaliens ou végétariens "léger" ou "moyen" sont également proposés. En effet, selon le niveau de végétarisme d'un plat, il émet plus faiblement ou plus fortement. Une description plus précise du type de plat

est exposée à l'utilisateur à côté de celui-ci si ce n'est explicitement pas clair (ex. végétarien "moyen" : quantité moyenne de produits animaliers (>150g fromage, > 3 oeufs...)). La variable **X-miss-lunch-school** permet à l'utilisateur de ne pas oublier un repas sur les 4 ou de ne pas en mettre trop. S'il en met trop, le texte est affiché en rouge pour le prévenir.

Les FE pour chaque type de repas ne viennent pas de la base de données de l'ADEME mais viennent plutôt de l'excellent travail de Louis Van Den Abbeele qui a créé le calculateur pour étudiant [38]. Il a lui-même été chercher les données sur la plate-forme *Agribalyse* [83] qui regroupe les FE de tous les produits alimentaires ainsi que sur le calculateur de bilan carbone *Nos gestes climats* [84] qui détaille les différents ingrédients de repas standards, eux-mêmes basés sur la base de données de l'ADEME. Les créateurs de *Nos gestes climats* ont en effet recréé un FE pour chaque type de repas. Ces FE sont disponibles sur le Tableau A.14.

Les FE pour du *repas pain charcuterie et/ou fromage* et du *repas pain avec garniture végétale* viennent quant à eux du *calculateur individuel* de l'AWAC [37]. Le FE pour la barquette de frites ou la portion de pizza est une moyenne entre le FE de portion de pizza et de portion de frites (180g), tous deux disponibles sur la base de données de l'ADEME.

Table A.14 – FE par type de repas.

Type de repas	FE [gCO ₂ -eq/repas]
végétalien	785.18
végétarien "léger"	1115
végétarien "moyen"	1533
viande blanche	2997.9
viande rouge	5510
poisson	1999
pain charcuterie et/ou fromage	1125
pain à garniture végétale	567
frites ou pizza	482.5

Les boissons industrielles sont également demandées sur une semaine-type, et donc divisées par 5 et multipliée par 182 pour avoir les émissions sur l'année. Le FE pour une boisson industrielle a lui été calculé à partir des différents FE des boissons de l'ADEME. Une moyenne entre les FE de l'eau (50cl, bouteille), du coca (33cl, canette) et du jus d'orange (20cl, berlingot) a été effectuée pour obtenir le FE d'une boisson industrielle : 174 [gCO₂-eq/boisson]. Les FE de l'ADEME sont au kg donc il a été supposé 1 litre = 1 kg. Ces 3 types de boissons ont été choisies arbitrairement et représentent assez bien ce qu'un élève peut boire à l'école. Ce FE est donc une estimation mais est assez représentatif en ordre de grandeur. Les chiffres d'un élève qui boit du jus de pomme ou un Aquarius seraient du même ordre de grandeur que celui appliqué ici.

Les collations ou desserts que mangent l'élève sont regroupés en *fruit local*, *fruit non local* et *collations sucrées*. Les FE viennent de la base de données de l'ADEME.

Matériel scolaire

Ce sous-module reprend le matériel scolaire de l'élève, incluant l'achat de son cartable/sac de cours, l'achat des livres scolaires et l'achat de consommable de bureau. Les questions sur son matériel scolaire sont reprises à la Figure A.18 et la description des variables sur le Tableau A.15.

Matériel scolaire

Je possède actuellement 2 cartable(s)/sac(s) scolaire(s) et le conserve durant environ 3 années.

Pour l'école et pour cette année scolaire, j'ai acheté/reçu ou j'achèterai/recevrai 8 livres de cours ou de lecture neufs.

Pour l'école, j'achète environ chaque année pour 70 euros de petites fournitures (blocs de feuilles, cahiers, bics, fluos, fardes, intercalaires...).

Figure A.18 – Questions du sous-module Matériel scolaire.

Table A.15 – Description des variables Matériel scolaire.

Nom de la variable	Description
X-schoolbag-number	nombre de sac(s) de cours
X-schoolbag-lifetime	durée de vie moyenne des sacs de cours
X-schoolbook-number	nombre de livres scolaires pour une année scolaire
X-officestuff-price	achat de consommable de bureau (€)

Un élève peut avoir plusieurs sacs pour l'école mais garde ces sacs plusieurs années. C'est pourquoi les émissions pour un sac sont amorties sur la durée de vie du sac. Par facilité de remplissage, une durée de vie moyenne est demandée même si l'utilisateur possède plusieurs sacs. Le FE utilisé est un FE pour sac à dos d'écolier. Il est supposé que le livre scolaire ou de lecture demandé ou offert par l'école n'est utilisé qu'une seule année et donc qu'il n'est pas amorti sur plusieurs années. Le FE utilisé est un FE pour un livre de 300g. Il est bien écrit "livre neuf" car si l'élève a récupéré le livre, le poids carbone du livre doit être divisé entre tous les possesseurs du livre. Cependant, vu les ordres de grandeurs du poids carbone d'un livre, les livres d'occasion n'ont pas été pris en compte. Chaque année, les élèves achètent des consommables de bureau pour l'école. L'ADEME propose un FE en euro pour ces consommables de bureau, ce qui est judicieux. L'élève sait plus facilement combien d'euros lui ou ses parents mettent chaque année que si c'était demandé au poids. Le terme "chaque année" de la question permet de ne pas amortir ces biens achetés. En effet, demander le prix par année permet que les biens achetés soient amortis sur un an même si ce ne sont pas les mêmes affaires achetées chaque année.

A.1.6 Domicile

Ce module reprend tout ce qui implique le cadre familiale de l'élève : son logement incluant la construction et la consommation d'énergie, son alimentation à la maison, les biens communs à toute la famille ainsi que les déchets produits. Les émissions impliquant toute la famille sont naturellement divisées par le nombre d'habitants du domicile pour avoir un impact individuel.

Questions générales

Ce sous-module sert simplement à expliquer aux élèves qui ont plusieurs lieux de vie comment ils doivent remplir le questionnaire qui va suivre sur le domicile unique pris en compte. Des tests sont nécessaires afin d'être sûr que cela convienne à la majorité des élèves. L'explication n'est pas affichée pour les élèves vivant dans un seul lieu de vie et passent directement au sous-module suivant. La question est exposée à la Figure A.19 et la description de la variable sur le Tableau A.16.

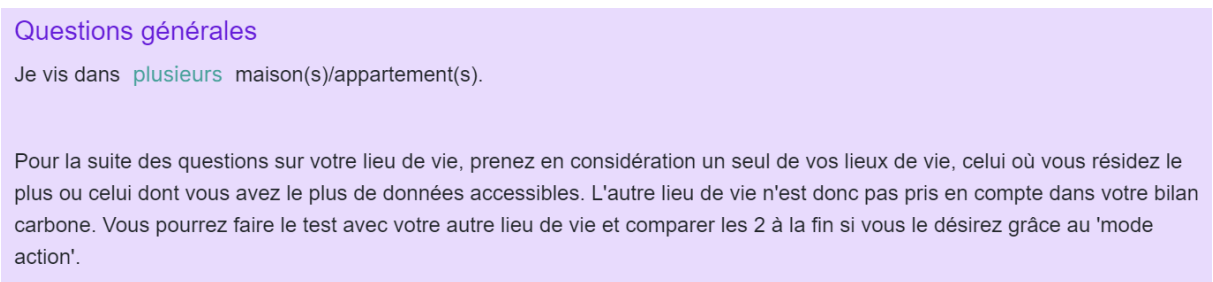


Figure A.19 – Questions du sous-module Questions générales domicile.

Table A.16 – Description de la variable Questions générales.

Nom de la variable	Description
D-home-number	nombre de lieux de vie (un(e) seul(e), plusieurs)

Construction

Ce sous-module reprend les émissions de GES dues à la construction du lieu de vie de l'élève. Ces émissions sont calculées à partir de la surface hors oeuvre nette de l'habitat (c'est à dire la somme des surfaces des planchers de chaque niveau moins tout ce qui n'est pas aménageable) ainsi que la durée d'amortissement de cet habitat. Un élève ne connaît à priori pas la surface de son logement. C'est pourquoi une surface est estimée à partir du type de logement avec la variable **D-home-or-flat** et la taille subjective de ce logement avec les variables

D-home-size ou **D-home-size**. Les questions sont exposées à la Figure A.20, les conditions de ces questions sur la Figure A.21 et la description des variables sur le Tableau A.17.

Construction

J'habite dans **une maison** avec **4** autres personnes (adultes et enfants compris). Nous vivons donc à 5.

Je qualifierais la superficie de la maison (en superficie totale, compter les étages mais pas l'éventuel jardin) de **grande** (petite étant < 100 m², moyenne entre 100 et 140 m² et grande > 140 m²). 

Figure A.20 – Questions du sous-module Construction.

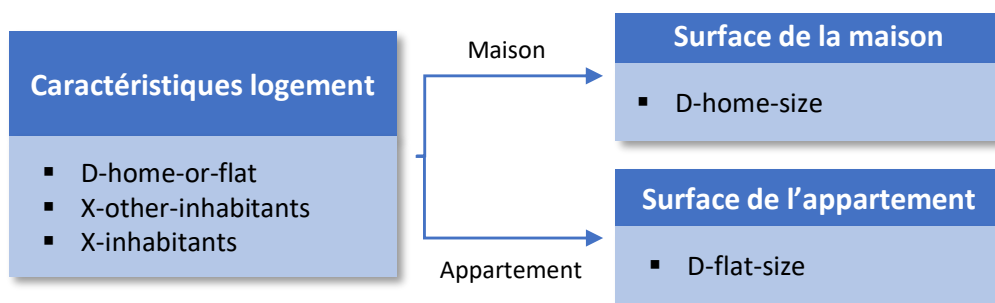


Figure A.21 – Conditions Construction.

Table A.17 – Description des variables Construction.

Nom de la variable	Description
D-home-or-flat	type de logement (une maison, un appartement)
D-home-size	taille de la maison (petite, moyenne, grande)
D-flat-size	taille de l'appartement (petite, moyenne, grande)
X-other-inhabitants	nombre d'habitants vivant avec l'utilisateur
X-inhabitants	nombre d'habitants dans le logement
EST-home-size	surface estimée de la maison
EST-home-age	durée d'amortissement estimé de la maison
EST-flat-size	surface estimée de l'appartement
EST-flat-age	durée d'amortissement estimé de l'appartement

La surface en fonction du type de logement est estimée à partir de la surface moyenne des logements en Belgique : 67 m² pour un appartement et 120 m² pour une maison [48]. Un facteur de 0.75 a été appliqué par rapport à la moyenne pour estimer la surface d'un "petit" logement. Un facteur de 1.25 a été appliqué pour la surface d'un "grand" logement. Sur le tableau A.18 sont exposées les surfaces estimées en fonction du type d'habitat et de sa taille.

Table A.18 – Surface estimée du logement selon le type de logement et la taille subjective.

Taille du logement	Surface estimée du logement [m ²]	
	appartement	maison
petit	50	90
moyen	67	120
grand	85	150

L'amortissement du logement est supposé de 30 ans [49]. Un *mode avancé* est disponible pour modifier les variables **EST-home-size** ou **EST-flat-size** et **EST-home-age** ou **EST-flat-age** si l'utilisateur connaît plus précisément la surface du logement et la durée d'amortissement de celui-ci. Le nombre d'habitants du domicile est également demandé pour partager les émissions entre tous les habitants. Cette variable **X-inhabitants** va servir pour tout le module *Domicile*.

Le poids carbone de la construction est obtenu en multipliant la surface du logement par le FE associé à la construction d'une maison individuelle au m² SHON (surface hors oeuvre nette) et en partageant ces émissions par le nombre d'habitants et la durée d'amortissement du bâtiment.

Chauffage et climatisation

Ce sous-module reprend le chauffage et la climatisation du logement de l'élève. Contrairement à l'école qui possède aisément les données des factures liées aux combustibles pour le chauffage, les élèves n'ont pas accès à ces données ou plus difficilement. C'est pourquoi un modèle a été créé pour obtenir une consommation estimée d'énergie pour le chauffage à partir de données auxquels l'élève a accès plus facilement. Ce modèle est semblable à celui du *Calculateur individuel* [37]. Les informations demandées sont le nombre de façades de l'habitat avec **D-frontage-number**, le type de chauffage utilisé avec **D-heating-type**, la température souhaitée le jour et la nuit avec **X-day-temp** et **X-night-temp** ainsi que le niveau d'isolation de la maison avec **D-insulation**. Ces informations restent a priori accessibles. Les questions du chauffage et de la climatisation sont exposées sur la Figure A.22, les conditions de ces questions sur la Figure A.23 et la description des variables sur le Tableau A.19.

Pour obtenir le poids carbone du chauffage, la consommation énergétique pour le chauffage est estimée à partir de la surface du logement, des déperditions de chaleur dues à l'isolation et aux nombres de façades de l'habitat et de la température souhaitée le jour et la nuit. Avec des hypothèses de logement 4 façades, d'une température appréciée de 21°C le jour et 16°C la nuit, une consommation typique de 115 kWh/m² est estimée pour un logement bien isolé et 150kWh/m² pour un logement mal isolé [85]. Les murs d'un logement représentent typique-

Chauffage et climatisation

Ma maison possède 3 façade(s) donnant sur l'extérieur et est

mal isolée (courants d'air, il fait vite froid quand on éteint le chauffage...) .

Le chauffage de la maison se fait via une chaudière à gaz . Nous apprécions avoir 22 °C dans la maison la journée et 20 °C la nuit.

La maison dispose d'un système de climatisation de l'air contre la chaleur. 

L'ensemble des pièces couvertes par la climatisation représente 30 m².

Figure A.22 – Questions du sous-module Chauffage et climatisation.

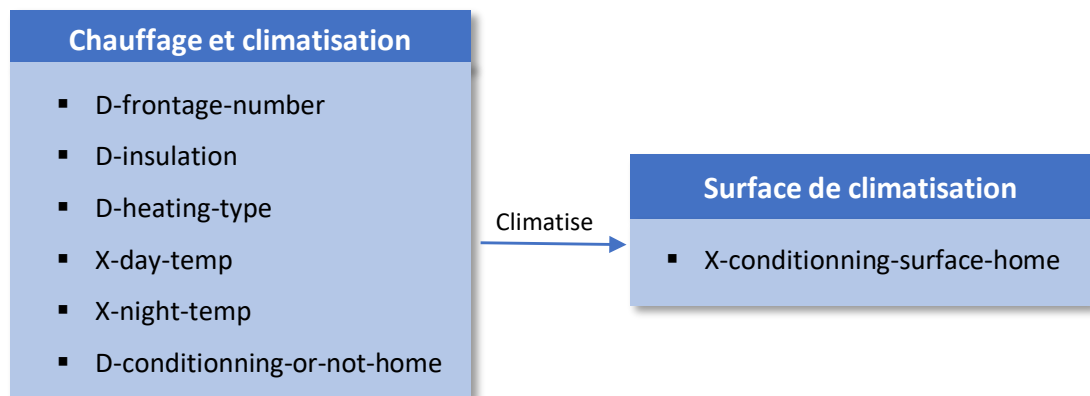


Figure A.23 – Conditions Chauffage et climatisation.

ment 20% de pertes. C'est pourquoi 5% de pertes en moins sont retirées par façade en moins. 16h de jour et 8h de nuit sont considérées, c'est-à-dire, 2/3 de jour et 1/3 de nuit. Voici l'équation utilisée pour estimer la consommation du logement :

$$\text{Surface [m}^2\text{]} \cdot (1 - 0.05 \cdot (4 - \text{nombre de façades})) \cdot \text{consommation selon l'isolation [kW h/m}^2\text{]} \quad (\text{A.1})$$

$$\cdot \left(\text{proportion de jour} \cdot \frac{\text{température appréciée le jour}}{\text{température théorique de jour}} + \right. \\ \left. \text{proportion de nuit} \cdot \frac{\text{température appréciée de nuit}}{\text{température théorique de nuit}} \right)$$

Donc si l'utilisateur apprécie 22°C en journée et 17°C la nuit, a une maison mal isolée de 100m² et 2 façades, la consommation de sa maison sera estimée à :

Table A.19 – Description des variables Chauffage et climatisation.

Nom de la variable	Description
D-frontage-number	nombre de façades (1, 2, 3, 4)
D-insulation	niveau d'isolation (bien isolée, mal isolée)
D-heating-type	type de chauffage (une chaudière à gaz, une chaudière au mazout, une chaudière électrique, une chaudière au bois, une pompe à chaleur, je ne sais pas)
X-day-temp	température appréciée le jour
X-night-temp	température appréciée la nuit
EST-home-size	surface estimée de la maison
EST-home-age	durée d'amortissement estimé de la maison
EST-flat-size	surface estimée de l'appartement
EST-flat-age	durée d'amortissement estimé de l'appartement
D-conditionning-or-not-home	climatisation ou pas (dispose, ne dispose pas)
D-conditionning-surface-home	surface climatisée (m ²)

$$100 [m^2] * 0.90 * 150 [kWh/m^2] * \left(\frac{2}{3} * \frac{22}{21} + \frac{1}{3} * \frac{17}{16} \right) = 14210 [kWh] \quad (A.2)$$

Cette consommation est ensuite multipliée par le FE au kWh du combustible associé au type de chauffage utilisé et partagée entre les habitants du logement. Les émissions dues au chauffage par chaudière électrique ou par pompe à chaleur sont évaluées à 0. En effet, si l'utilisateur rentre directement l'électricité précise grâce au compteur d'électricité du logement, il ne faut pas prendre en compte cette électricité dans le chauffage. Cependant, si le chauffage est électrique et que l'utilisateur ne remplit pas la valeur précise de l'électricité grâce au compteur électrique, l'estimation électrique du sous-module suivant sous-évalue sûrement la consommation électrique. C'est pourquoi il est conseillé à l'utilisateur d'être précis par rapport à l'électricité lorsque le chauffage est électrique. Les FE viennent de la base de donnée de l'ADEME. Le choix "je ne sais pas" de la variable **D-heating-type** renvoie directement au FE du gaz car la plupart des chauffages sont au gaz en Belgique [86].

Les émissions dues à la climatisation dans le logement sont demandées exactement de la même manière que la climatisation de l'école. Toutes les explications sont à la sous-section A.1.3 au sous-module *Energie*.

Électricité et eau chaude

Ce sous-module reprend l'électricité du logement global ainsi que la consommation d'eau chaude sanitaire de l'utilisateur. Les questions sur l'électricité et l'eau chaude sont proposées à la Figure A.24 et la description des variables sur le Tableau A.20.

Electricité et eau chaude

Je qualifierais la consommation électrique de la maison comme

grande (>3500 kWh/an, taques électriques, lumières non LED, piscine chauffée avec une pompe à chaleur, jacuzzi...) .



Note par rapport aux panneaux solaires si vous voulez comprendre pourquoi ils ne sont pas pris en compte : 

Je prends en moyenne par semaine 2 douche(s) courte(s) (moins de 4 minutes), 3 douche(s) longue(s) (plus de 4 minutes) et 1 petit(s) bain(s).

L'eau de la maison est chauffée par une chaudière à gaz .

Figure A.24 – Questions du sous-module Électricité et eau chaude.

Table A.20 – Description des variables Électricité et eau chaude.

Nom de la variable	Description
D-elec-cons	suggestion de consommation d'électricité (petite (<2000kWh/an), normale (entre 2000 et 3500 kWh/an), grande (>3500 kWh/an))
EST-electricity-kwh	estimation de consommation d'électricité
X-short-shower-number	nombre de courtes douches
X-long-shower-number	nombre de longues douches
X-bath-number	nombre de bains
D-bath-type	type de bains (petit(s), grand(s))
D-hot-water-mode	type de chaudière sanitaire (une chaudière à gaz, une chaudière au mazout, une chaudière à bois, une chaudière électrique, une pompe à chaleur, je ne sais pas)

Pour simplifier l'accessibilité des données de l'élève, il peut estimer la consommation en électricité de son logement comme "petite", "normale" ou "grande" avec un ordre de grandeur en kWh proposé à côté de cette estimation. Une consommation "petite" est supposée être en dessous de 2000 kWh/an et est estimée par le système à 1500 kWh/an. Une consommation "normale" est supposée être entre 2000 kWh/an et 3500 kWh/an et est estimée par le système à 2750 kWh/an. Une consommation "grande" est supposée être au-dessus de 3500 kWh/an et est estimée par le système à 4000 kWh/an. L'utilisateur a la possibilité de remplir lui-même

les valeurs plus précises de consommation s'il a accès à ces valeurs via le compteur électrique. Comme expliqué au sous-module *Chauffage*, il est rappelé à l'utilisateur d'essayer d'être le plus précis possible quant à la consommation d'électricité s'il possède un chauffage électrique car les estimations proposées sont des hypothèses très fortes et sous évaluent la véritable consommation électrique, qui est en effet plus élevée si le chauffage est électrique.

Les panneaux solaires ne sont pas pris en compte pour le logement. Les raisons de ce choix sont expliquées à l'élève qui pourrait également se demander pourquoi cette électricité produite n'est pas prise en compte. Voici l'explication qui leur est proposée : "On ne prend pas en compte les émissions de gaz à effet de serre des panneaux solaires car les données sont compliquées à obtenir et que les émissions évitées grâce aux panneaux solaires ne sont pas dans votre périmètre de bilan carbone. Toute l'électricité produite par les panneaux solaires n'est pas consommée par la maison. Une partie de cette production est envoyée sur le réseau électrique en dehors de la maison, par exemple quand il n'y a personne à la maison et qu'aucun appareil ou aucune lampe n'est allumé. Si on prenait en compte les panneaux solaires, on ne prendrait donc en compte que les émissions dues à l'électricité que la maison consomme (production des panneaux, mise en place et entretien). Cette fraction autoconsommée vaut environ 37% pour les ménages. L'électricité envoyée sur le réseau pourrait constituer des émissions évitées vu que cette électricité émet moins de gaz à effet de serre que l'électricité moyenne du réseau, cependant cela n'entre pas dans le périmètre bilan carbone de la maison mais dans celui de la personne qui la consomme en dehors de la maison. Cependant, si vous avez des panneaux solaires, votre consommation électrique du réseau, si vous la remplissez grâce aux données précises de votre compteur, doit être plus faible que si vous n'aviez pas de panneaux."

L'eau chaude sanitaire prise en compte est seulement celle utilisée pour les douches et les bains de l'utilisateur seul. L'eau chaude des éviers n'est donc pas prise en compte car la quantité de celle-ci est compliquée à estimer et est considérée comme marginale par rapport aux douches et aux bains. 80% de l'eau chaude sanitaire serait consommée dans les salles de bain contre 20% pour la cuisine [53]. Pour estimer les émissions de GES dues au chauffage de l'eau sanitaire, il faut avoir le volume d'eau à chauffer, la quantité de kWh thermique que ce volume d'eau demande et un FE associé au type de chauffage de cette eau. Le nombre de courtes douches, longues douches et de petits ou grands bains permettent d'estimer le volume d'eau utilisé par l'élève par semaine, ce volume est ensuite ramené par année en le multipliant par 52. Les différents volumes estimés sont évalués sur une base 15 litres/min, 3 minutes pour une douche courte et 6 minutes pour une douche longue [87, 88]. Ces volumes sont disponibles sur le Tableau A.21.

Table A.21 – Volume d’eau par type de douche/bain.

Type de douche/bain	Volume d’eau chaude [litres]
douche courte (< 4 min)	45
douche longue (> 4 min)	90
grand bain	120
petit bain	200

Il faut 1.162 Wh par degré et par litre pour chauffer de l’eau [54]. De plus l’eau chaude sanitaire est généralement chauffée à 60°C et l’eau à température ambiante est de 15°C [54]. La quantité d’énergie en kWh thermique par litre est donc de $45 [^{\circ}\text{C}] * 1.162 [\text{Wh}/(^{\circ}\text{C} * \text{litre})] = 52.29 \text{ Wh/litre}$. On obtient donc l’énergie demandée pour le chauffage du volume d’eau total de l’année. A cela doit être ajouté le rendement de la chaudière utilisée pour obtenir l’énergie primaire totale consommée. Ces rendements estimés sont repris sur le Tableau A.22.

Table A.22 – Rendements des chaudières. (1) Les rendements des chaudières à bois dépendent de nombreux paramètres, un rendement de 80% est une valeur acceptable.

Type de chaudière	Rendement [%]
chaudière au gaz [55]	90
chaudière au mazout [56]	90
chaudière au bois ⁽¹⁾ [57]	80

L’énergie primaire est donc obtenue et multipliée par le FE en kWh PCI associé au combustible utilisé pour obtenir le poids carbone de l’eau chaude consommée par l’utilisateur. Comme pour le chauffage de la maison dans le sous-module *Chauffage et climatisation* qui précède celui-ci, un chauffage électrique est évalué à 0 car l’électricité est déjà prise en compte ci-dessus et le choix ”je ne sais pas” correspond à un chauffage au gaz car c’est le plus commun en Belgique [86].

Alimentation

Ce sous-module reprend l’alimentation de l’utilisateur à la maison, incluant ses déjeuners, ses repas du midi non pris à l’école, ses soupers, ses boissons, les déplacements pour les courses ainsi que le gaspillage alimentaire éventuel chez lui. Les questions sont exposées sur les Figures A.25 et A.26 et la description des variables sur le Tableau A.23.

Le type de déjeuner qu’il prend est d’abord demandé à l’utilisateur grâce à la variable **D-breakfast**. Un FE est associé à chaque type de déjeuner. Comme pour les repas du midi à l’école de la sous-section A.1.3, ces FE ne viennent pas de la base de données de l’ADEME mais viennent plutôt de l’excellent travail de Louis Van Den Abbeele qui a créé le calculateur

Alimentation

Le matin, pour mon petit déjeuner, je mange principalement
un petit déjeuner « continental » (pain, confiture, viennoiseries...) .

Sur les 10 repas restants d'une semaine type (les 4 midis à l'école ont déjà été pris en compte, il reste donc 3 repas du midi du week-end et du mercredi et 7 repas du soir) : je mange

- > 2 fois du pain avec de la charcuterie et/ou du fromage,
- > 1 fois du pain avec garniture végétale,
- > 1 repas végétaliens (sans produits d'origine animale),
- > 1 repas végétariens 'léger' (sans chair animale mais avec des oeufs, un peu de fromage...),

> Next

- > -- repas végétariens 'moyen', c'est-à-dire une quantité moyenne de produits animaliers (>150g fromage, > 3 oeufs...),
- > 2 repas avec une pièce de viande blanche (volaille, porc...),
- > 2 repas avec une pièce de viande rouge (boeuf, veau, agneau...),
- > 1 repas avec du poisson,

et je saute 0 repas.

Quand je suis en vacances scolaires, le midi, je mange le plus souvent
des repas végétariens 'moyens', c'est-à-dire une quantité moyenne de produits animaliers (>150g fromage, > 3 oeufs...)

 > Next

Figure A.25 – Questions du sous-module Alimentation.

pour étudiant [38]. Il a lui-même été chercher les données sur la plate-forme *Agribalyse* [83] qui regroupe les FE de tous les produits alimentaires ainsi que sur le calculateur de bilan carbone *Nos gestes climats* [84] qui détaille les différents ingrédients de repas standards, eux-mêmes basés sur la base de données de l'ADEME. Ces FE pour les déjeuners sont disponibles sur le Tableau A.24.

Les repas du soir et des midi du mercredi, samedi et dimanche sont demandés ensuite. Il y a donc 10 repas par semaine à compter dans cette catégorie. Le nombre de repas est expliqué à l'utilisateur afin qu'il ne soit pas perdu. La variable **X-food-miss-home** permet à l'utilisateur de ne pas oublier un repas sur les 10 ou de ne pas en mettre trop. S'il en met trop, le texte est affiché en rouge pour le prévenir. Les types de repas proposés sont les mêmes que ceux du midi à l'école à la sous-section A.1.3 avec les mêmes FE.

Concernant les boissons :

Boissons chaudes : je bois environ par semaine **2** tasses (café(s), thé(s) ou chocolat(s) chaud(s)), avec une préférence pour **rien, je prends de tout** .

Soft : je bois environ **4** verres par semaine (jus, sodas, lait, eau en bouteille...), avec une préférence pour **les sodas (coca, fanta, ice tea...)** .

Les courses pour notre approvisionnement sont généralement effectuées **2** fois par semaine, en **en voiture** , à une distance d'environ **10** km de la maison.

Concernant le gaspillage alimentaire :

il nous arrive de jeter des aliments (date de péremption dépassée, restes moisis, pain sec...) .

> Next

Figure A.26 – Questions du sous-module Alimentation.

Comme expliqué au sous-module *Alimentation à l'école* de la sous-section A.1.3, il y a 146 repas du midi à l'école. Il y a également $3 \times 52 = 156$ repas du midi des mercredi, samedi et dimanche. il manque donc des midis de vacances du lundi, mardi, jeudi et vendredi pas encore pris en compte. Ils sont au nombre de $365 - 146 - 156 = 63$ midis. Ils sont pris en compte grâce à la variable **D-lunch-holidays** qui permet à l'utilisateur de choisir le repas du midi en vacances qu'il mange le plus souvent. Ce n'est pas très précis mais permet de raccourcir ce sous-module déjà assez long et de prendre en compte tous les repas de l'année.

Ensuite, le nombre de boissons chaudes et de soft bus par semaine est demandé à l'élève ainsi que le type de boisson chaude et de soft qu'il consomme le plus. Les FE associés à ces boissons sont renseignés sur le Tableau A.25. Ces FE sont calculés ou directement pris à partir de FE de la base de données de l'ADEME. Le FE associé au choix "rien je prends de tout" est une moyenne des FE des autres boissons.

Les émissions de transport pour les courses sont ensuite pris en compte avec les mêmes FE qu'au module *Déplacements employés domicile-travail* de la sous-section A.1.3. Pour avoir la distance total de trajets des courses sur l'année, la distance de trajet moyen pour les courses est demandé ainsi que le nombre de courses par semaine. Ces données sont ensuite multipliées par 2 (aller-retour) et par 52 pour avoir la distance totale annuelle. Le poids carbone est ensuite obtenu en multipliant cette distance par le FE associé au mode transport utilisé et en le partageant entre le nombre d'habitant du logement, ce qui n'est pas fait pour les consommations précédentes car l'utilisateur peut avoir un régime différent que ses cohabitants. Cependant, il est plus que probable que l'élève ne fasse pas ses courses lui-même. Les trajets faits doivent donc bien être

Table A.23 – Description des variables Alimentation.

Nom de la variable	Description
D-breakfast	type de déjeuner (un petit déjeuner « continental », des céréales avec du lait, salé « à l'anglaise » (œufs, bacon...), un/des fruit(s), rien de solide (boissons exclues))
X-meat-cheese-bread-home	repas pain avec charcuterie et/ou fromage
X-vegan-bread-home	repas pain avec garniture végétale
X-vegan-hard-home	repas végétalien
X-vegan-light-home	repas végétarien "léger"
X-vegan-mid-home	repas végétarien "moyen"
X-chicken-home	repas avec de la viande blanche
X-redmeat-home	repas avec de la viande rouge
X-fish-home	repas avec du poisson
X-miss-food-home	nombre de repas manqués
D-lunch-holidays	repas du lundi, mardi, jeudi, vendredi hors école variable proposant tous les types de repas
X-hot-cups	nombre de tasses chaudes
D-hot-cups-type	type de boisson chaude (thé, café, chocolat chaud)
X-soft-glasses	nombre de verres de soft
D-soft-glasses-type	type de boisson chaude (l'eau en bouteille, les sodas (coca, fanta, ice tea...), le lait, les jus de fruits, rien je prends de tout)
D-food-run-type-transport	type de transport pour les courses (en voiture, en bus, en train, en tram/métro, en vélo électrique, en vélo, à pied)
X-distance-foodrun	distance moyenne du magasin
X-foodrun-number	nombre de courses par semaine
D-food-waste	comportement de gaspillage (nous ne gaspillons jamais d'aliments, nous essayons au plus possible de ne pas gaspiller, il nous arrive de jeter des aliments, nous ne regardons pas à ça et préférons avoir trop que trop peu)

partagés entre tous les habitants.

Le gaspillage alimentaire est très commun en Wallonie [58]. Les catégories d'aliments les plus gaspillées sont *les restes de repas, les pains et pâtisseries* et *les légumes* [58]. Le gaspillage alimentaire est pris en compte en supposant un coefficient de consommation supplémentaire que ce que l'utilisateur mange en fonction de son comportement et celui de ses cohabitants. L'ensemble des émissions dues à ses repas est donc multiplié par ce coefficient. Le Tableau A.26 montre la valeur de ces coefficients choisis arbitrairement et repris du *calculateur Étudiant* [38].

Table A.24 – FE pour les déjeuners.

Type de déjeuner	FE [gCO ₂ -eq/déjeuner]
continental	289.1
céréales avec du lait	468
salé à l'anglaise	1124
un fruit	419.4
rien de solide	0

Table A.25 – FE pour les boissons. (1) 33cl, 6g de thé par tasse, FE thé aromatisé sucré. (2) 33cl, FE café expresso non sucré prêt à boire. (3) 30cl de lait demi-écrémé et 20.25g de poudre cacao-tée. (4) 20cl, FE coca. (5) 20cl, lait demi-écrémé. (6) 20cl, médiane de pleins de jus communs.

Type de boisson	FE [gCO ₂ -eq/boisson]
thé ⁽¹⁾	174
café ⁽²⁾	200
chocolat chaud ⁽³⁾	953
rien je prends de tout	442
eau en bouteille	54
soda ⁽⁴⁾	102
lait ⁽⁵⁾	264
jus de fruit ⁽⁶⁾	200
rien je prends de tout	207

Équipement

Ce sous-module reprend tout le mobilier présent dans le domicile ainsi que tous les équipements appartenant à plusieurs membres du domicile. Les questions liées au mobilier et à l'équipement partagé se trouvent aux Figures A.27 et A.28. La description des variables liées à ces questions sont sur le Tableau A.27.

Le mobilier est considéré être utile à tous, c'est pourquoi les émissions liées à ce mobilier sont partagées entre tous les habitants. Elles sont également partagées par le nombre d'années moyen de leur durée de vie. Les FE viennent directement de la base de données de l'ADEME. Comme expliqué au sous-module *Équipement* du module *École* à la sous-section A.1.3, le FE de l'armoire est divisé par 3 pour avoir un FE basé sur un poids d'armoire plus représentatif. Le FE ensemble salon de jardin est une moyenne des FE des ensembles salon de jardin en métal, en bois et en résine tressée.

Les émissions dues aux équipements partagés sont divisées par facilité entre tous les habitants même si ces équipements n'appartiennent pas à tous les habitants. De plus, grâce aux termes "pour l'usage de tout le monde ou de ma fratrie et sans compter mes équipements per-

Table A.26 – Coefficient pour le gaspillage.

Comportement	Coefficient
nous ne gaspillons jamais d'aliments	0
nous essayons au plus possible de ne pas gaspiller	1.015
il nous arrive de jeter des aliments	1.03
nous ne regardons pas à ça et préférons avoir trop que trop peu	1.06

Équipement

A la maison, nous possédons en tout :

- > 3 canapé(s),
- > 6 lit(s) (sommier + matelas),
- > 10 armoire(s) et dressing(s)
- > 4 table(s) normale(s),
- > 10 petits meubles (table basse, chaise...),
- > 2 ensemble salon de jardin,

En moyenne, nous changeons ces meubles tous les 10 ans.

A la maison, pour l'usage de tout le monde ou de ma fratrie et sans compter mes équipements personnels, nous avons dans les pièces communes :

- > 3 écran(s) de télévision,
- > 1 projecteur(s),
- > 1 ordinateur(s) fixe(s),
- > 2 ordinateur(s) portable(s),

Figure A.27 – Questions du sous-module Équipement.

> 1 tablette(s) ,
 > 2 console(s) de jeux vidéos,
 > 1 baffle(s) audio bluetooth,
 > 1 enceinte(s) à commande vocale,
 > 3 appareil(s) photo,
 > 2 frigo(s),
 > 2 congélateur(s),
 > 1 lave-vaisselle(s),
 > 1 machine(s) à laver,
 > 1 séchoir(s),
 > 2 four(s),
 > 1 micro-onde(s) (si four et micro-onde combiné, ne compter que un seul micro-onde pour le four micro-onde combiné).

En moyenne, nous changeons ces équipements tous les 10 ans.

> Next

Figure A.28 – Questions du sous-module Équipement.

sonnels”, l'utilisateur a moins de chance de faire un double comptage et sépare correctement les équipements partagés de ses équipements personnels, sous-module de la suivante sous-section A.1.7. Les FE viennent également de la base de données de l'ADEME. Certains sont calculés comme la moyenne des FE de plusieurs types de cette équipement. Le FE appareil photo est une moyenne des FE des appareils photo compacts, hybrides et réflexs. Le FE lave-vaisselle est une moyenne des FE des lave-vaisselle standards et compacts. Le FE séchoir est une moyenne des FE des séchoirs à pompe à chaleur, à évacuation et à condensation.

Déchets

Ce sous-module englobe la majorité du processus de gestion des déchets domestiques, habituellement pris en charge par les services de ramassage et les recyparcs. L'utilisateur peut

Table A.27 – Description des variables Équipement du domicile.

Nom de la variable	Description
X-sofa	nombre de fauteuils
X-bed	nombre de lits
X-cupboard-home	nombre d'armoires
X-table-home	nombre de tables
X-small-furniture	nombre de petits meubles
X-garden	nombre d'ensemble de jardin
X-furniture-home-lifetime	durée de vie moyen du mobilier
X-TV-home	nombre de TV
X-projo-home	nombre de projecteurs
X-fixed-computer-home	nombre d'ordinateurs fixes
X-PC-home	nombre d'ordinateurs portables
X-tablet-home	nombre de tablettes
X-console-home	nombre de consoles de jeux vidéos
X-speaker-home	nombre de baffle audio
X-voice-speaker-home	nombre d'enceinte à commande vocale
X-camera-home	nombre d'appareils photo
X-fridge	nombre de frigos
X-freezer	nombre de congélateurs
X-dish-washer	nombre de lave-vaisselles
X-washing-machine	nombre de machines à laver
X-dryer	nombre de séchoirs
X-oven	nombre de fours
X-microwave	nombre de four micro-onde
X-family-stuff-home-lifetime	durée de vie moyen des appareils ménagers

choisir via **D-sort-waste-or-not** s'il effectue le tri chez lui ou non. En cas d'absence de tri, seuls les déchets ménagers sont requis. Sinon, les déchets demandés comprennent les déchets ménagers avec **X-household-waste-home**, les papiers/cartons avec **X-paper-home**, les PMC avec **X-PMC-home**, le verre avec **X-glas-home**, et éventuellement les déchets organiques s'ils ne sont pas éliminés avec les ordures ménagères. L'affichage de ce sous-module est illustré dans la Figure A.29, les conditions d'affichage sont présentées dans la Figure A.30, et la description détaillée des variables est fournie dans le Tableau A.28.

Les déchets ne sont pas directement demandés en kg comme au sous-module *Déchets à l'école* mais sont plutôt demandés en sacs ou en caisses, ce qui est plus facile à se représenter pour l'utilisateur. Il faut donc parvenir à ramener ces sacs ou caisses en kg afin de pouvoir utiliser les FE au kg. Cela se fait grâce à des hypothèses de volume et de densité pour chaque type de déchets. Ces hypothèses se trouvent sur le Tableau A.29.

Déchets

A la maison, nous **trions** les déchets.

Chaque mois, nous jetons en moyenne **2** sac(s) d'ordures ménagères, **2** sac(s) PMC, **1** caisse(s) de papier-carton, **1** caisses (12 bouteilles) de verre et environ **10** litres de déchets organiques (une petite poubelle composte = +/- 20 litres) qui vont **dans un compost chez moi** .i

Figure A.29 – Questions du sous-module Déchets.

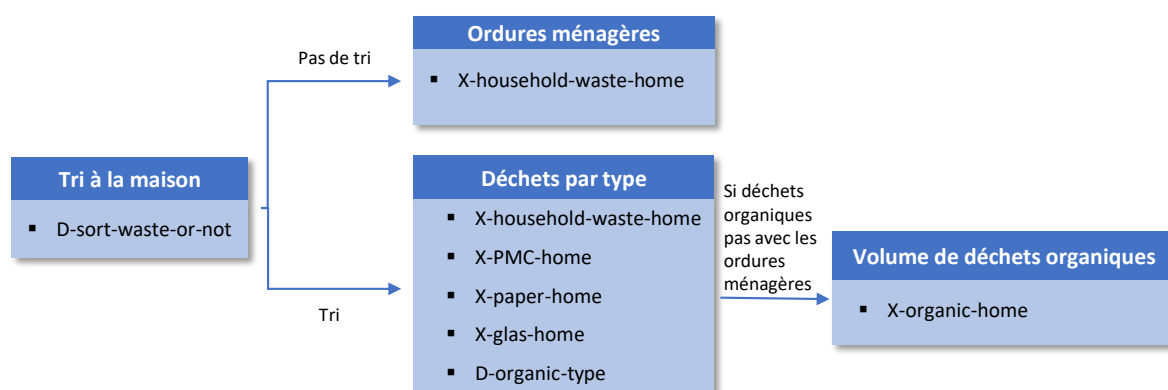


Figure A.30 – Conditions Déchets.

Les déchets organiques sont pris en compte de la même façon qu’au module *Déchets à l’école* de la sous-section A.1.3. Toutes les émissions de GES liées aux déchets sont réparties entre les habitants.

A.1.7 Mes activités personnelles

Ce module reprend toutes les activités personnelles de l’élève ainsi que ses consommations personnelles : déplacements hebdomadaires hors école, déplacements pour les vacances, achats de biens technologiques, consommation numérique, achats de vêtements et de produits d’hygiène. on considère que ses vacances ne sont pas d’office avec les mêmes personnes que son domicile, c’est pour cela qu’elles se trouvent dans ce module.

Déplacements personnels

Ce sous-module englobe tous les déplacements dus aux activités de l’élève (sportives, culturelles, artistiques...) qui nécessitent des trajets ainsi que tous les déplacements qu’il peut faire en plus pour les trajets du quotidien hors école et activités. L’utilisateur dit d’abord le nombre d’activités qu’il a par semaine. S’affichent ensuite les questions sur les déplacements

Table A.28 – Description des variables Déchets.

Nom de la variable	Description
D-sort-waste-or-not	tri des déchets (trions, ne trions pas)
X-household-waste-home	nombre de sacs d'ordures ménagères
X-PMC-home	nombre de sacs PMC
X-paper-home	nombre de caisses de papier/carton
X-glas-home	nombre de caisses de verre
X-organic-home	volume de déchets organiques (litre)
D-organic-type	façon de jeter les déchets organiques (avec les ordures ménagères, dans un container dédié, dans un compost chez moi)

Table A.29 – Hypothèses de densités et volumes par type de déchets. (1) vient de [61]. (2) vient de [60]. (3) vient de [62].

Type de déchets	Volume	Densité
sac d'ordures ménagères	50 ⁽¹⁾ l	0.3 ⁽²⁾ kg/l
sac de PMC	60 ⁽¹⁾ l	0.08 ⁽²⁾ kg/l
caisse de papier/carton	60 l	0.06 ⁽²⁾ kg/l
caisse de verre	12 bouteilles	0.25 ⁽³⁾ kg/bouteille
déchets organiques	-	0.3 ⁽²⁾ kg/l

de ses activités en fonction du nombre d'activités et enfin, le reste de ses déplacements du quotidien est demandé afin de prendre en compte un maximum de ses trajets. Les questions sont affichées sur la Figure A.31, les conditions de ces questions sur la Figure A.32 et la description des variables liées à ces questions sur le Tableau A.30

La distance de trajet, le nombre de fois que l'utilisateur pratique l'activité par semaine et le mode de transport utilisé sont demandés pour chaque activité. cela permet d'avoir les émissions pour tous les trajets de chaque activité. Comme pour certains autres sous-modules liés aux déplacements, si le mode de transport est la voiture, des précisions sur le nombre de passagers, le type de voiture et le type de motorisation sont demandées afin d'être plus précis dans le calcul d'émissions et de sensibiliser au type de voiture utilisé. Une approximation de la distance totale par semaine des autres trajets du quotidien (aller chez des amis, voir les grands parents, jobs étudiants...) est ensuite demandée. Cela permet d'ajouter les trajets pas encore pris en compte, même si la distance totale par semaine de ces trajets reste approximative.

Déplacements personnels

En dehors de l'école, je pratique **2** activités (sportives, culturelles, artistiques...) qui nécessitent des trajets.

> Je pratique la première activité **2** fois par semaine. Je fais le plus souvent la majorité du trajet **en voiture** sur une distance de **10** km (aller).

La voiture principalement utilisée est **une petite citadine légère (ex. Peugeot 208, Clio, Polo, Fiat 500...)** avec une motorisation **diesel** et nous sommes habituellement **1** dedans (ne pas compter l'adulte conducteur sauf s'il pratique également l'activité, le trajet lui est donc utile et on peut le compter avec).

> Je pratique la deuxième activité **1** fois par semaine. Je fais le plus souvent la majorité du trajet **en vélo** sur une distance de **5** km (aller).

Pour les autres trajets du quotidien (aller chez des amis, voir les grands parents, jobs étudiants...), j'ai environ **50** km de trajet par semaine en tout (allers et retours de tous les autres trajets), effectués principalement **en voiture**.

La voiture principalement utilisée est **une petite citadine légère (ex. Peugeot 208, Clio, Polo, Fiat 500...)** avec une motorisation **diesel** et nous sommes habituellement **2** dedans (avec le conducteur cette fois si la majorité des autres trajets lui servent aussi).

> Next

Figure A.31 – Questions du sous-module Déplacements personnels.

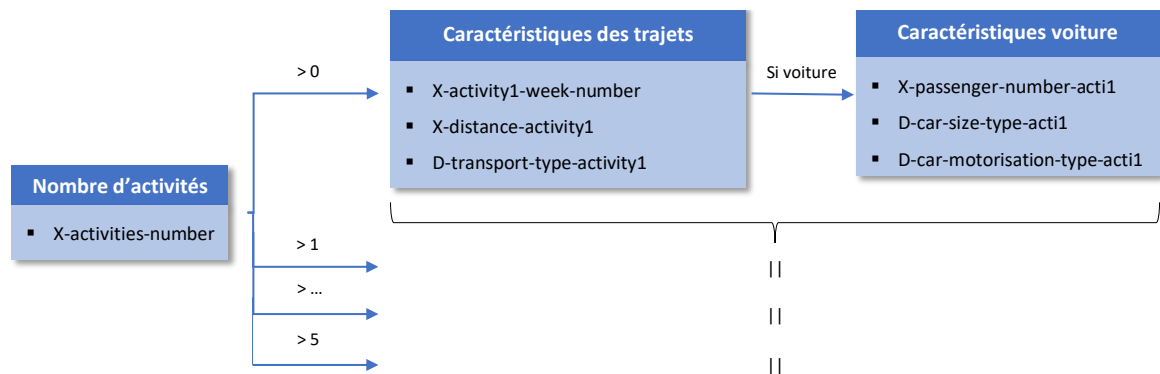


Figure A.32 – Conditions Déplacements personnels.

Déplacements vacances

Ce sous-module reprend tous les déplacements des vacances familiales et personnelles de l'élève. Les trajets pour les week-ends sont demandés séparément des trajets pour les vacances. De cette façon, l'utilisateur n'oublie pas d'inclure les déplacements pour ses week-ends et pas seulement que pour ses vacances plus longues. Les questions liées à ces déplacements sont exposées sur la Figure A.33 tandis que les conditions d'affichage de ces questions sont sur la Figure

Table A.30 – Description des variables Déplacements personnels.

Nom de la variable	Description
X-activities-number	nombre d'activités
X-activity1-week-number	nombre de fois l'activité par semaine
X-distance-activity1	distance de l'activité
D-transport-type-activity1	mode de transport (en voiture, en bus, en train, en tram/métro, en scooter, en vélo électrique, en trottinette électrique, en vélo, à pied)
X-passenger-number-acti1	nombre de passagers dans la voiture
D-car-size-type-acti1	type de voiture (une petite citadine légère, un véhicule compact, une berline ou un monospace, un SUV ou une berline haut de gamme)
D-car-motorisation-type-acti1	motorisation de la voiture (essence, diesel, LPG, CNG, hybride, hybride rechargeable, électrique)
D-transport-type-other	mode de transport (en voiture, en bus, en train, en tram/métro, en scooter, en vélo électrique, en trottinette électrique, en vélo, à pied)
X-perso-other-number	distance totale hors activités
X-passenger-number-other	nombre moyen de passagers
D-car-size-type-other	type de voiture (une petite citadine légère, un véhicule compact, une berline ou un monospace, un SUV ou une berline haut de gamme)
D-car-motorisation-type-other	motorisation de la voiture (essence, diesel, LPG, CNG, hybride, hybride rechargeable, électrique)

A.34. Les variables de ce sous-module sont décrites sur le Tableau A.31. Seules les variables du premier week-end et des premières vacances sont décrites, celles des week-ends et vacances suivantes sont similaires à celles décrites. Un maximum de 4 week-ends et de 4 vacances a été choisi arbitrairement. Il faudra peut-être augmenter ces chiffres si les tests montrent que cela est utile.

Les utilisateurs ont la possibilité de donner directement la distance du trajet mais également le temps que le trajet a pris grâce à la variable **D-time-or-distance-travell**. En effet, comme pour les voyages scolaires, il s'avère que les élèves de 15 à 18 ans ont parfois beaucoup de mal à estimer les distances de leurs voyages. Le temps de trajet est alors plus facile à estimer pour eux. Lorsqu'ils préfèrent utiliser le temps de trajet, le système retransforme ce temps de trajet en distance en km grâce à des hypothèses de vitesses moyennes selon le mode de transport. Vous pouvez observer dans le Tableau A.11 au sous-module *voyages scolaires* à la sous-section

Vacances

Concernant mes vacances familiales ou personnelles durant cette année scolaire (de septembre à août inclus) :

Je suis parti ou je vais partir **1** fois en Week-end et **1** fois en vacances.

> Pour le premier Week-end, nous faisons la majorité du trajet **en voiture**, **pendant 2** heures (en comptant le temps de trajet aller, sans compter l'attente éventuelle dans les différentes plateformes).

La voiture principalement utilisée est **un véhicule compact (ex. Peugeot 308, Golf, Audi A3, BMW série 1...)** avec une motorisation **essence** et nous sommes **3** dedans.

> Pour les premières vacances, nous faisons la majorité du trajet **en avion**, **sur une distance de 1500** km (aller).

> Next

Figure A.33 – Questions du sous-module Déplacements vacances.

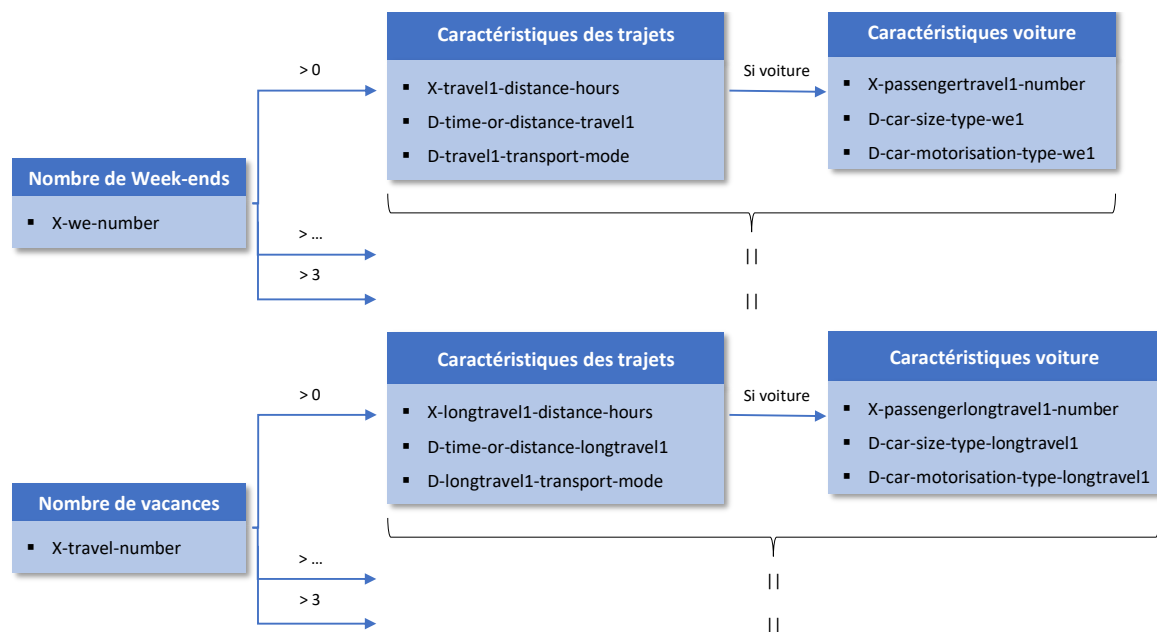


Figure A.34 – Conditions Déplacements vacances.

A.1.3. Le poids carbone est calculé également de la même façon que pour les voyages scolaires et comme pour certains autres sous-modules liés aux déplacements, si le mode de transport est la voiture, des précisions sur le nombre de passagers, le type de voiture et le type de motorisation sont demandées afin d'être plus précis dans le calcul d'émissions et de sensibiliser au type de voiture utilisé. Les informations sur ces types de véhicules sont disponibles au sous-module *Trajets domicile-école* de la sous-section *Déplacements pour l'école* A.1.4.

Table A.31 – Description des variables Déplacements vacances.

Nom de la variable	Description
X-we-number	nombre de week-ends
X-travel-number	nombre de vacances
D-travel1-transport-mode	mode de transport (en voiture, en bus/car, en train, en TGV, en avion, à vélo, à pied)
D-time-or-distance-travel1	choix en temps ou en distance (sur une distance de, pendant)
X-travel1-distance-hours	distance ou temps du trajet (km ou heures)
X-passengertravel1-number	nombre de passagers dans la voiture
D-car-size-type-we1	type de voiture (une petite citadine légère, un véhicule compact, une berline ou un monospace, un SUV ou une berline haut de gamme)
D-car-motorisation-type-we1	motorisation de la voiture (essence, diesel, LPG, CNG, hybride, hybride rechargeable, électrique)
D-car-motorisation-type-act1	motorisation de la voiture (essence, diesel, LPG, CNG, hybride, hybride rechargeable, électrique)
D-longtravel1-transport-mode	mode de transport (en voiture, en bus/car, en train, en TGV, en avion, à vélo, à pied)
D-time-or-distance-longtravel1	choix en temps ou en distance (sur une distance de, pendant)
X-longtravel1-distance-hours	distance ou temps du trajet (km ou heures)
X-passengerlongtravel1-number	nombre de passagers dans la voiture
D-car-size-type-longtravel1	type de voiture (une petite citadine légère, un véhicule compact, une berline ou un monospace, un SUV ou une berline haut de gamme)
D-car-motorisation-type-longtravel1	motorisation de la voiture (essence, diesel, LPG, CNG, hybride, hybride rechargeable, électrique)

Technologie et numérique

Ce sous-module englobe tous les équipements personnels de l'élève ainsi que sa consommation de vidéos, de musique, et d'utilisation des réseaux sociaux. Les questions sont exposées sur la Figure A.35 et les variables sont décrites sur le Tableau A.32.

L'insistance de la phrase "je possède pour mon usage personnel" permet de bien faire comprendre à l'élève qu'il doit mettre ses biens personnels seulement, vu que les équipements

Technologie et numérique

Je possède pour mon usage personnel :

- > -- télévision(s),
- > -- projecteur(s),
- > -- ordinateur(s) fixe(s),
- > 1 ordinateur(s) portable(s),
- > 1 smartphone(s),
- > 1 tablette(s),
- > -- montre(s) connectée(s),

- > 1 console(s) de jeux vidéos,
- > 1 baffle(s) audio bluetooth,
- > -- enceinte(s) à commande vocale,
- > -- appareil(s) photo.

Je change ces biens personnels environ tous les 4 ans.

Je regarde des vidéos, lives, séries et films en streaming environ 10 heure(s) par semaine.

J'écoute de la musique en ligne environ 1 heure(s) par jour.

Je passe environ 1 heure(s) par jour sur les réseaux sociaux (Instagram, Tiktok, BeReal, Snapchat, Twitter, Facebook...)

> Next

Figure A.35 – Questions du sous-module Technologie et numérique.

partagés du domicile ont déjà été pris en compte. Les émissions de ces biens sont réparties sur une durée de vie moyenne de tous ces équipements grâce à la variable **X-lifetime-own**.

Les émissions de GES dues au digital sont causées par 3 postes principaux : les centres de données, la transmission de ces données et l'appareil utilisé pour consommer ces données. Les FE utilisés proviennent de l'agence internationale de l'énergie (IEA) [89]. Pour limiter le

Table A.32 – Description des variables Technologies et numérique.

Nom de la variable	Description
X-TV-own	nombre de TV
X-projo-own	nombre de projecteur
X-fixed-computer-own	nombre d'ordinateur fixe
X-PC-own	nombre d'ordinateurs portables
X-smartphone-own	nombre de smartphones
X-tablet-own	nombre de tablettes
X-connected-watch-own	nombre de montres connectées
X-console-own	nombre de consoles
X-speaker-own	nombre de baffles
X-voice-speaker-own	nombre d'enceintes vocales
X-camera-own	nombre d'appareils photo
X-lifetime-own	durée de vie de ces équipements
X-video-consumption	temps de consommation de vidéos, lives, séries, films (heures)
X-music-consumption	temps d'écoute de musique (heures)
X-networks-consumption	temps d'utilisation des réseaux sociaux (heures)

temps de remplissage du questionnaire et parce qu'en ordre de grandeur, le digital ne compte pas énormément, les types d'appareil, types de réseaux utilisés et qualité de vidéo ne sont pas séparés. En effet, pour la vidéo, une hypothèse de haute qualité est assumée et un FE moyen par appareil utilisé est calculé à partir des FE de smartphone, tablette, ordinateur et télévision. Pour la musique, un FE moyen est calculé à partir des FE de consommation en 4G et en wifi. Les FE sont répertoriés sur le Tableau A.33.

Table A.33 – FE du digital.

Type de consommation digitale	FE [gCO ₂ -eq/heure]
streaming vidéo	4
streaming de musique	0.75
réseaux sociaux	1

Textiles

Ce sous-module reprend tous les achats textiles de l'utilisateur. Les questions sont reprises sur la Figure A.36 et les variables sont décrites sur le Tableau A.34.

Table A.34 – Description des variables Textiles.

Nom de la variable	Description
X-clothes-new-number	nombre d'habits neufs achetés
X-clothes-old-number	nombre d'habits d'occasion achetés

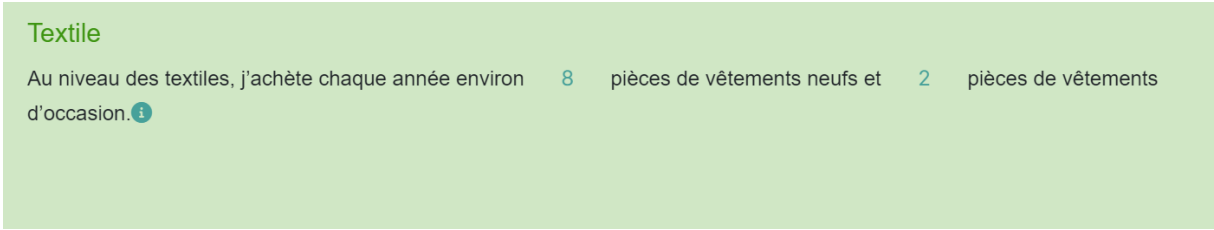


Figure A.36 – Questions du sous-module Textiles.

Les FE des habits sont disponibles sur la base de données de l'ADEME pour chaque type de textile en particulier. Un FE moyen a donc été calculé à partir des FE robe, pull, T-shirt, chemise, jean, chaussure et veste. Les vêtements d'occasion sont supposés arbitrairement avoir été portés par une seule autre personne. C'est pourquoi un facteur de 0.5 est utilisé pour calculer le poids carbone des vêtements d'occasion achetés par l'utilisateur. Une bulle *infomode* est présente pour expliquer à l'utilisateur que chaque textile, aussi petit soit-il, doit être considéré comme un textile.

Hygiène

Ce sous-module englobe tous les produits d'hygiène et de cosmétiques (maquillage, savon, crème, dentifrice, ...) achetés par l'utilisateur. Ces achats sont demandés par mois, ce qui est plus facilement représentatif pour l'élève. La question est disponible à la Figure A.37 et la variable décrite sur le Tableau A.35.

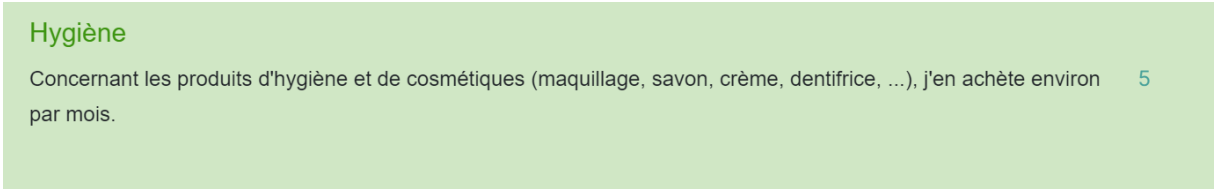


Figure A.37 – Questions du sous-module Hygiène.

Table A.35 – Description de la variable Hygiène.

Nom de la variable	Description
X-hygiene-number	nombre de produits d'hygiène achetés

Les FE des produits d'hygiène sont disponibles sur la base de données de l'ADEME pour chaque type de produit en particulier. Un FE moyen a donc été calculé à partir des FE shampoing, gel douche, savon solide. Une hypothèse de 500g par produit a été posée car les FE sont au kg. Le côté durable ou non du produit n'est pas pris en compte. Cela n'est pas grave vu les faibles ordres de grandeur d'émissions de ce sous-module.

Guide explicatif du calculateur destiné aux professeurs

B.1 Contexte et objectifs

Ce calculateur d'empreinte carbone est destiné aux élèves du secondaire. L'objectif du calculateur est de sensibiliser les élèves à leur propre impact sur le réchauffement de la planète. Il leur permet d'avoir des notions d'ordre de grandeur sur ce qu'ils émettent en tant qu'élèves et adolescents. Il permet également de leur montrer les aspects de leurs vies qui émettent le plus et la diminution de leurs émissions s'ils changent certains comportements. Effectuer cet exercice en classe avec vos élèves permet d'avoir un cadre pour les élèves et de sensibiliser ceux qui n'effectueraient jamais ce genre de test chez eux. Cependant, pour être efficace, ce test se doit d'être accompagné d'au moins quelques explications sur le changement climatique, l'effet de serre... Vous pouvez retrouver un exemple d'explications préalables au test dans la section 3.

Le questionnaire qui leur est proposé est divisé en 6 modules principaux : *Mon empreinte carbone*, *École*, *Déplacements pour l'école*, *Consommation à l'école*, *Domicile* et *Activités personnelles*. Vous n'aurez cependant pas le temps, en un seul cours de 50 minutes, de parcourir l'ensemble de tous les modules. Plusieurs choix s'offrent alors vous. Soit vous parcourez l'ensemble du questionnaire avec eux, mais il faudra compter plutôt 2 cours de 50 minutes. Soit, vous n'effectuez qu'une partie du questionnaire en combinant les modules que vous préférez et vous leur suggérez de faire le reste du questionnaire chez eux. Ci-dessous un descriptif de chaque module pour vous aider à faire la combinaison que vous trouvez la plus judicieuse pour votre classe. Un temps théorique de remplissage est associé à chaque module. Le temps pratique de remplissage est sûrement un peu plus long que le théorique, comme vous vous en doutez sûrement. Vous pourriez par exemple ne remplir seulement que les modules liés à l'école (1, 2, 3, 4) ou plutôt que les modules personnels (1, 5, 6) ou alors plutôt sur ce sur quoi peut agir l'élève (1, 3, 4, 6). Toutes les combinaisons sont possibles selon vos préférences.

Mon empreinte carbone : Ce module est presque obligatoire et permet à l'élève de se familiariser avec le questionnaire, de l'impliquer personnellement en lui demandant son prénom

et son année d'étude et de lui faire comprendre que le bilan qu'il effectue se calcule par rapport à l'ensemble de son année scolaire. Temps théorique de remplissage : 30 sec.

École : Ce module reprend toutes les émissions de l'école non liées aux choix personnels de l'élève. Le raisonnement est le suivant. L'élève fait partie intégrante de l'école qui sert essentiellement à éduquer les élèves. L'école émet des émissions de GES donc une partie de ces émissions, malgré le manque de pouvoir d'action de l'élève sur celles-ci, rentre dans son empreinte carbone. Chaque émission de l'école est donc divisée par le nombre d'élèves dans l'école. Ce module est neutre par rapport à la vie de chaque élève et évite donc les comparaisons entre élèves. Cependant, c'est le module qui vous demande le plus de travail pour vous. En effet, vous devrez recueillir toutes les données liées à l'école avant le cours en question. La liste de données à recueillir se trouve à la fin de ce document en section 5. Temps théorique de remplissage : 10 min.

Déplacements pour l'école : Ce module reprend tous les déplacements que l'élève effectue pour l'école ou à l'école. En effet, il reprend ses déplacements pour aller et revenir de l'école, ses voyages scolaires, ses sorties scolaires et ses déplacements pour le cours de sport. Temps théorique de remplissage : 3 à 5 min.

Consommation à l'école : Ce module reprend l'alimentation de l'élève à l'école ainsi que sa consommation de biens dans le cadre de l'école, typiquement son matériel scolaire. Temps théorique de remplissage : 3 min.

Domicile : Ce module reprend tout ce qui implique le cadre familiale de l'élève : son logement incluant la construction et la consommation d'énergie, son alimentation à la maison, les biens communs à toute la famille ainsi que les déchets produits. Les émissions impliquant toute la famille sont naturellement divisées par le nombre d'habitants du domicile pour avoir un impact individuel. Temps théorique de remplissage : 10 min.

Activités personnelles : Ce module reprend toutes les activités personnelles de l'élève ainsi que ses consommations personnelles : déplacements hebdomadaires hors école, déplacements pour les vacances (on considère que ses vacances ne sont pas d'office avec les mêmes personnes que son domicile, c'est pour cela qu'elles se trouvent dans ce module), Achats de biens technologiques, consommation numérique, achats de vêtements et de produits d'hygiène. Temps théorique de remplissage : 7 à 10 min.

B.2 Utilisation du calculateur

RGPD : Si l'élève ne se crée pas de compte, le questionnaire est anonyme, personne n'a donc accès à ses réponses aux questionnaires, pas même le professeur. S'il se crée un compte, par exemple pour pouvoir réutiliser à la maison le questionnaire fait en classe, les règles de protection des données sont respectées par l'AWAC qui en a toute la responsabilité et ce règlement est disponible en vert lors de la création du compte. L'école et le professeur n'ont jamais accès aux données de l'élève et ne sont donc jamais responsable du respect des données de la vie privée, vu qu'ils n'y ont pas accès.

Les élèves peuvent répondre sur leurs smartphones, une tablette ou sur un ordinateur. C'est comme vous préférez.

Le questionnaire est simplifié et ne prend évidemment pas toute la vie de l'élève en compte afin qu'il soit le plus accessible possible. Cependant, si certaines données restent compliquées à obtenir, une estimation est souvent largement suffisante pour avoir un ordre de grandeur approprié.

Voici le lien d'accès au calculateur : « <https://awac-factorx.b12-consulting.com/app/home> ». Il faudra ensuite cliquer sur « Calculateur élève ». Un texte explicatif (montré en section 4) sera alors affiché et vous pourrez le lire avec les élèves. Ensuite commencera le questionnaire.

Vous pouvez naviguer entre les modules grâce aux cases colorées au-dessus du questionnaire ou en appuyant sur « next » à la fin de chaque module. Si vous ne remplissez pas un module, il ne sera pas affiché dans le résultat final. Les émissions sont également affichées sur la gauche en regard de chaque nom du sous-module. Pour le module *École*, à vous de voir si vous préférez remplir les éléments en même temps que les élèves ou si vous les laissez se débrouiller avec les données que vous leur fournissez.

Lorsque vous soumettez vos réponses (bouton de soumission à la fin du dernier module), un graphique s'affiche avec les émissions par module et sous-module. Vous pouvez également passer en « mode action », ce qui permet de changer des réponses dans le questionnaire et voir les diminutions d'émissions en fonction d'autres comportements/choix que vous pourriez avoir. Testez évidemment l'outil avant de le faire avec les élèves. Un test est plus exhaustif que n'importe quel guide.

B.3 Exemple d'explications préalables à l'utilisation du calculateur par les élèves

Voici un exemple de mise en contexte très simplifiée pour justifier l'utilisation du calculateur. Ce n'est qu'une suggestion, chacun peut avoir sa propre vision des choses et sa façon de le transmettre à propos d'un sujet si complexe que le changement climatique, en respectant tout de même les faits scientifiques, cela va de soi :

« Les conséquences du changement climatique sont et seront les suivantes (ne pas les citer toutes -> ne pas choquer les élèves et éveiller en eux de l'éco-anxiété) : vagues de chaleur et de froid, les extrema de températures croissants, la diminution des disponibilités physiques de l'eau et de la production de nourriture, la réduction de la santé et du bien-être liée à divers facteurs tels que la chaleur, les incendies de forêt, les maladies infectieuses ou la santé mentale, l'augmentation du niveau de la mer, l'augmentation du nombre de tempêtes et des inondations, la croissance des dommages aux infrastructures et aux secteurs économiques, des changements dans la structure des écosystèmes, des déplacements de l'aire de répartition des espèces, des modifications des phénomènes périodiques de la vie animale et végétale.

Le GIEC a prouvé que le réchauffement global de la planète, et donc le changement climatique a été et est causé par les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique. L'effet de serre est un phénomène naturel qui permet à la Terre de rester à une température ambiante. Sans l'effet de serre la température moyenne de la Terre serait d'environ -18°C. Par exemple, l'eau évaporée des océans est un gaz à effet de serre d'origine naturel. Cependant une trop forte concentration de GES dans l'atmosphère provoquée par l'Homme, dominés par le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄), contribue à y piéger un surplus de chaleur et à réchauffer la planète. C'est donc en effet les émissions des hommes qui sont la cause du réchauffement global. Il y a plusieurs types de gaz à effet de serre. Ils n'ont pas tous le même potentiel de réchauffement et la même durée de vie dans l'atmosphère. C'est pourquoi tous ces gaz sont ramenés en CO₂ équivalent, gaz à effet de serre d'origine anthropique le plus présent dans l'atmosphère.

En Belgique, un adulte moyen émet environ 16 tonnes de CO₂ équivalent par an. L'objectif des accords de Paris est de limiter la hausse de la température bien en deçà de 2°C d'ici la fin du siècle, en faisant tous les efforts pour la maintenir en deçà de 1,5°C. Cela représente une émission de 2 tonnes de CO₂ équivalent par an et par personne à l'horizon 2050. Il faut donc diminuer de plus de 8 fois les émissions de chacun. Ce calculateur vous permet d'avoir des notions d'ordre de grandeur sur ce que vous émettez en tant qu'élèves et adolescents. Il vous permet également de

montrer les aspects de vos vies qui émettent le plus et comment vous pouvez agir pour diminuer vos émissions et quantifier vos changements de comportements. »

Prendre 5 minutes pour leur expliquer tout ça paraît essentiel.

Pour répondre aux élèves qui pourraient dire, c'est pas nous ce sont les entreprises/industries et les politiques qui doivent agir, pas nous :

« Les politiques, les industries et les individus se doivent de travailler ensemble et chacun de leur côté pour atteindre ces objectifs. Les politiques mettent un cadre légal et peuvent inciter à certaines actions, les industries qui produisent les choses que les individus consomment se doivent de modifier leur offre et la façon de produire pour diminuer les émissions et enfin, les individus se doivent de changer leurs habitudes et leur comportement pour diminuer leur propre empreinte et également, en changeant leurs comportements, à inciter les politiques et les industries à agir différemment. C'est un triangle de prise de responsabilité.»

B.4 Texte proposé au début du questionnaire pour l'élève

Etablir son bilan carbone

Il vous est proposé de réaliser ici votre Bilan Carbone individuel en tant qu'élève belge du secondaire, c'est-à-dire votre impact sur le changement climatique. Même si une série de questions ont trait à l'ensemble des élèves de votre école ou l'ensemble des personnes avec qui vous vivez, le nombre de personnes est chaque fois pris en compte pour établir votre chiffre individuel. Ce calculateur est conçu de la manière la plus générique possible mais à ce titre ne colle pas à 100% à tous les parcours de vie. Il s'adresse aux élèves du secondaire divisant leur temps de vie entre l'école et le cadre de vie familial.

Une unité unique : les kilos de gaz carbonique équivalent

Un bilan carbone ou "bilan de gaz à effet de serre" se calcule sur l'ensemble des gaz qui ont un impact sur le changement climatique. Le CO_2 n'est pas le seul gaz à effet de serre (GES), loin de là. Il en existe toute une série, dont le potentiel de réchauffement est très variable, de même que leur durée de vie dans l'atmosphère. Les principaux sont : la vapeur d'eau (H_2O), d'origine essentiellement naturelle, le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O). Pour toutes ces raisons, on exprime l'impact de tous ces GES par rapport au CO_2 , le GES le plus abondant après la vapeur d'eau, qui sert donc d'étalon. C'est ce qu'on appelle l'équivalence en CO_2 , que l'on note CO_2e .

Un périmètre large mais simplifié

Le périmètre des questions est volontairement large pour tenir compte de l'ensemble de nos activités humaines. Votre bilan n'est donc relativement complet que lorsque vous avez répondu à l'entièreté des questions. S'agissant d'un outil grand public, nous avons veillé toutefois à simplifier tout ce qui pouvait l'être, moyennant diverses hypothèses. À noter que le questionnaire est pensé pour être complété dans l'ordre, module par module, puisque certaines questions dépendent de vos réponses précédentes. Les « i » répartis dans le texte vous permettent d'accéder à des informations complémentaires tandis que les « clés à molette » vous permettent d'accéder à un mode avancé où vous pouvez corriger nos hypothèses en encodant vos données réelles de consommation lorsque vous les connaissez.

B.5 Données à recueillir pour le module *École*

Les données à recueillir par le professeur sont exposées à la Figure B.1.

Donnée	Valeur	Unité	Commentaire éventuel
Nom de l'école			
Localité de l'école			
Nombre d'élèves	0		
Surface de bâtiments (classes, salle	0	m2	
Surface parking non couvert	0	m2	
Surface cour extérieur en dur (ne p	0	m2	
Surface de toit de préau	0	m2	métal, tôle, tuiles
Surface de terrain de sport imperm	0	m2	
électricité du réseau	0	kWh	
gaz naturel du réseau	0	kWh	
mazout/fioul domestique	0	litres	
Bois-pellets	0	kWh ou m3	
Bois-plaquettes	0	kWh ou m3	
panneaux solaires électriques		OUI/NON	
fraction auto-consommée des pan	25	%	pas obligatoire, hypothèse si vous savez pas
Si OUI : production annuelle des pa	0	kWh	
Climatisation		OUI/NON	
Si OUI : Surface climatisée	0	m2	
Nombre d'employés	0		
Distance moyenne trajets domicile	0	km	
Répartition de ces employés par mode de transport :			
covoiturent à 2 ou +	0	%	
voiture seuls	0	%	
moto	0	%	
train	0	%	
bus	0	%	
tram/metro	0	%	
vélo élec	0	%	
ped ou vélo muscle	0	%	
nombre de chaises	0		
nombre de tables/bureaux	0		
nombre d'armoires	0		
31 à 33 renouvelés tous les	1	ans	
nombre d'ordinateurs fixes	0		
nombre d'ordinateurs portables (L	0		
nombre de tablettes	0		
nombre de photocopieurs	0		
nombre d'imprimantes	0		
nombre de projecteurs	0		
nombre d'écrans interactifs	0		
nombre de télévisions	0		
nombre de modems wifi	0		
35 à 42 renouvelés tous les	1	ans	
nombre de ramettes de 500 feuille	0		
nombre de ballons de sport	0		
nombre de paniers de basket ou go	0		
nombre de vareuses	0		
nombre de modules de barres para	0		
nombre de tapis de gym	0		
nombre de vélos	0		
45 à 50 renouvelés tous les	1	ans	
ordures ménagères	0	kg	
papier-carton	0	kg	
PMC	0	kg	
verre	0	kg	
lieu déchets organiques			ordures ménagères, container dédié, sacs biodégradables, compost
Si pas avec ordures ménagères :	/	/	
volume déchets organiques déchet	0	litres	

Figure B.1 – Données à recueillir pour le module *École*.

Perspectives d'amélioration précises et techniques du calculateur

- Ajout du choix "maison passive" dans le module *Domicile* ou explication de comment répondre si l'utilisateur vit dans une maison passive.
- Possibilité de mettre le nombre de course par mois et par semaine. Un élève testé a voulu remplir "une fois par mois" et n'a pas pu.
- Clarté sur le mobilier de la maison : un bureau doit être considéré comme une table.
- Ajouter des possibilités de vacances et de week-ends en plus. Certains élèves testés ont été bloqués.
- Changer le nom du calculateur en "calculateur élèves". C'est plus exact et représentatif du contenu du calculateur.
- Un amortissement de 30 ans pour les maisons est très approximatif ainsi que définir une grande maison à 150 m². Il faudrait trouver un moyen d'avoir plus de précision sur ces aspects.
- Parvenir à rendre plus claires les superficies de cour extérieure de l'école et de terrains de sport. Adapter les FE en conséquence.
- Ajouter chaîne Hi-fi dans les équipements ou faire une moyenne des FE d'un baffle audio bluetooth et d'une chaîne Hi-fi.
- Les durées de vie des équipements doivent mieux regrouper les équipements ayant une durée de vie similaire (ex. barre parallèle et ballon de foot ou smartphone et télévision)
- Deux sous-modules différents sont dénommés "FOOD" dans le code JSON. Cela peut être problématique.
- Les déchets de l'école sont demandés en kg. Une professeure et un centre de tri ont confirmé qu'ils facturaient plutôt ça en litres.
- L'affichage du "petit/grand" bain pourrait apparaître si le nombre de bain est supérieur à 0.
- Le texte "en savoir plus" affiché sur la page des résultats doit être adapté à ce calculateur élèves. Pour l'instant c'est le texte du calculateur *Étudiant*.

- La soumission des réponses devrait apparaître à chaque fin de module, vu que le professeur peut choisir quels modules il effectue avec ses élèves.
- Les "textActionGTIImpact" et "textActionLTIImpact" doivent être ajoutées aux variables adéquates afin d'améliorer les affichages des résultats après l'utilisation du *mode action*.

Bibliographie

- [1] IPCC, « Summary for Policymakers, » in *Climate Change 2023 : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]* Geneva, Switzerland : IPCC, 2023, p. 1-34. doi : 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
- [2] OMM. « Réchauffement planétaire. » (2023), adresse : <https://climat.be/changements-climatiques/changements-observees/rechauffement-planetaire>.
- [3] Climate-consulting. « Effet de serre : définition et conséquences sur l'environnement. » (2023), adresse : <https://climate.selectra.com/fr/comprendre/effet-de-serre>.
- [4] Ministère-de-la-Transition-écologique-français. « Panorama mondial des émissions de GES. » (2021), adresse : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/4-panorama-mondial-des-emissions-de>.
- [5] IPCC, « Summary for Policymakers, » in *Climate Change 2021 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]* Cambridge, United Kingdom et New York, NY, USA : Cambridge University Press, 2021, p. 3-32. doi : 10.1017/9781009157896.001.
- [6] CCNUCC, *Qu'est-ce que la CCNUCC, la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques?* Government Document. adresse : <https://unfccc.int/fr/processus-et-reunions/qu-est-ce-que-la-ccnucc-la-convention-cadre-des-nations-unies-sur-les-changements-climatiques>.

- [7] N. Maamoun, « The Kyoto protocol : Empirical evidence of a hidden success, » *Journal of Environmental Economics and Management*, t. 95, p. 227-256, 2019, issn : 0095-0696. doi : <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.04.001>. adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0095069618300391>.
- [8] CCNUCC, *L'Accord de Paris*, Government Document, 2015. adresse : http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php.
- [9] S. Lavallée et S. Maljean-Dubois, « L'Accord de Paris : fin de la crise du multilatéralisme climatique ou évolution en clair-obscur ? » *Revue juridique de l'environnement*, t. 41, 1, p. 19-36, 2016, issn : 9782756205618. adresse : https://www.cairn.info/revue-juridique-de-l-environnement-2016-1-page-19.htm%20https://www.cairn.info/load_pdf.php?ID_ARTICLE=RJE_161_0019.
- [10] CCNUCC, *Belgium's long-term strategy summary*, Government Document, 2021. adresse : https://unfccc.int/sites/default/files/resource/LTS_BE_EN_summary.pdf.
- [11] CCNUCC, *Belgium's long-term strategy*, Government Document, 2020. adresse : https://unfccc.int/sites/default/files/resource/2020-02-19_lts_be_fr.pdf.
- [12] « Plan National Énergie-Climat (PNEC) belge, » Gouvernement Belge : Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et du Climat, Government Document, 2020. adresse : <https://www.plannationalenergieclimat.be/admin/storage/nekp/pnec-version-finale.pdf>.
- [13] « La Belgique, un Etat fédéral, » Service Public Fédéral Belge, Government Document, 2023. adresse : https://www.belgium.be/fr/la_belgique/pouvoirs_publics/la_belgique_federale.
- [14] Climat.be. « Émissions par secteur. » (2021), adresse : <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur>.
- [15] « PLANNING FOR NET ZERO : ASSESSING THE DRAFT NATIONAL ENERGY AND CLIMATE PLANS, » ECF, CLIMACT, Report, 2019. adresse : <https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2019/11/05-2019-planning-for-net-zero-assessing-the-draft-national-energy-and-climate-plans.pdf>.
- [16] 2tonnes. « Pourquoi 2 tonnes ? » (2023), adresse : <https://www.2tonnes.org/>.

- [17] « Empreinte carbone : De quelles émissions sommes-nous responsables et comment les réduire? » (2021), adresse : <https://plateforme-wallonne-giec.be/Lettre9.pdf>.
- [18] « PLAN AIR CLIMAT ENERGIE 2030 DE LA WALLONIE, » Gouvernement Wallon, Government Document, 2023. adresse : <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/pace-2030-adoptee-gw-21-mars-2023.pdf?ID=73812>.
- [19] « LES WALLONS NE MANQUENT PAS D’AIR! » Gouvernement Wallon, Government Document, 2022. adresse : <https://henry.wallonie.be/files/Documents/220313%20-%20Panel%20citoyen%20-%20Recommandations.pdf>.
- [20] CptKeys. « Greenwashing. » Contenu soumis à la licence CC-BY-SA 4.0. Source : Article Greenwashing de Wikipédia en français (auteurs). (2023), adresse : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Greenwashing>.
- [21] Perspective-Monde. « Pyramide des âges. » (2023), adresse : <https://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMPagePyramide/BEL/2018/?>.
- [22] T. E. F. des Jeunes, *L’éducation en question : quelle place pour l’environnement?* Avis officiel, 2022. adresse : <https://forumdesjeunes.be/wp-content/uploads/2023/01/Avis-Education-a-lEnvironnement-Forum-des-Jeunes.pdf>.
- [23] L. Ducol, A. Anciaux, A. Catellani, G. Lits, B. Galand, F. Nils, B. Rihoux et L.-A. Cougnon, « Jeunes, Communication et Climat. Diversité des enjeux climatiques auprès des 15-24 ans en Belgique, » Rapport de l’UCLouvain, suite à un appel du Conseil fédéral pour le développement durable, nov. 2022, p. 159. doi : 10.31235/osf.io/87psm.
- [24] Faireparterrie. « SONDAGE EXCLUSIF : GÉNÉRATION CLIMAT Une étude sur la place de l’écologie dans les familles. » (2019), adresse : <https://www.faireparterrie.fr/etude-generation-climat/#ecoanxiete>.
- [25] C. Hickman et al., « Climate anxiety in children and young people and their beliefs about government responses to climate change : a global survey, » *The Lancet, Planetary Health*, déc. 2021. doi : 10.1016/S2542-5196(21)00278-3.
- [26] V. Jones et T. Podpadec, « Young people, climate change and fast fashion futures, » *Environmental Education Research*, p. 1-17, 2023, doi : 10.1080/13504622.2023.2181269, issn : 1350-4622. doi : 10.1080/13504622.2023.2181269. adresse : <https://doi.org/10.1080/13504622.2023.2181269>.

- [27] A. Wolff, « Bilan Carbone® - Mise en œuvre, » *Techniques de l'ingénieur*, 2015. adresse : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/chimie-verte-principes-reglementations-et-outils-d-evaluation-42490210/bilan-carbone-g1819/presentation-de-l-outil-g1819v2niv10001.html>.
- [28] « Guide sectoriel santé - Réalisation d'un bilan des émissions de gaz à effet de serre, » ADEME, 2019. adresse : <https://bilans-ges.ademe.fr/docutheque/Guide-Sectoriel-sante.ext#:~:text=La%20m%C3%A9thode%20Bilan%20Carbone%C2%AE,une%20d%C3%A9marche%20d'am%C3%A9lioration%20continue..>
- [29] EDD, O. Réthoré et S. L. Féon. « GHG Protocol : Contenu et différences avec le bilan carbone. » (2010), adresse : <https://encyclopedia-dd.org/encyclopedia/economie/l-analyse-du-cycle-de-vie-acv.html#:~:text=Les%20consommations%20de%20mati%C3%A8res%20et,impacts%20potentiels%20sur%20l'environnement..>
- [30] Climate-consulting et Selectra. « Alternatives au GHG Protocol : Bilan Carbone®, ISO 14064, etc. » (2023), adresse : <https://climate.selectra.com/fr/entreprises/bilan-carbone/ghg-protocol#quels-sont-les-objectifs-du-ghg-protocol>.
- [31] ISO. « Gaz à effet de serre Partie 1 : Spécifications et lignes directrices, au niveau des organismes, pour la quantification et la déclaration des émissions et des suppressions des gaz à effet de serre. » (2022), adresse : <https://www.iso.org/fr/standard/66453.html>.
- [32] « Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre, » ADEME, gouvernement report, 2022.
- [33] EcoTree. « Calculer et réduire les émissions de CO2. » (2023), adresse : <https://ecotree.green/calculer-co2-vol>.
- [34] GoodPlanet. « CALCULATEURS CARBONE. » (2023), adresse : <https://www.goodplanet.org/fr/calculateurs-carbone/>.
- [35] RTBF. « Mobilité, énergie, conso... à combien s'élèvent vos émissions de CO2? Faites le test avec notre calculateur. » (2023), adresse : <https://www.rtbef.be/article/mobilite-energie-conso-a-combien-selevent-vos-emissions-de-co2-faites-le-test-avec-notre-calculateur-11074811>.
- [36] Nos-Gestes-climats. « Connaissez-vous votre empreinte sur le climat? » (2023), adresse : <https://nosgestesclimat.fr/?lang=fr>.

-
- [37] AWAC. « Calculateur carbone. » (2023), adresse : <https://calculateurs.awac.be/app/home>.
- [38] L. Van Den Abbeele, « Carbon accounting tool for higher education students, » *Mémoire, UCLouvain, EPL*, 2023.
- [39] OCE. « MY CARBON FOOTPRINT. » (2023), adresse : <https://www.oce.global/animations/CarbonFootprint-final/footprint.html>.
- [40] Coren-asbl. « ECOTEAM pour demain. » (2018), adresse : <https://coren.be/fr/se-mettre-en-action/wallonie/ecoteam-pour-demain>.
- [41] FactorX et B12-consulting. « Calculateur Carbone de l'Agence Wallonne de l'air et du climat. » (2023), adresse : <https://awac-factorx.b12-consulting.com/app/home>.
- [42] « Mise en œuvre du décret du 14 mars 2019 portant diverses dispositions relatives à l'organisation du travail des membres du personnel de l'enseignement et octroyant plus de souplesse organisationnelle aux Pouvoirs organisateurs, » Fédération Wallonie-Bruxelles, Circulaire informative 7167, 2019. adresse : https://gallilex.cfwb.be/document/pdf/46417_000.pdf.
- [43] ADEME. « Base Carbone® V23.1. » (2023), adresse : <https://base-empreinte.ademe.fr/>.
- [44] We-are-green, G. Mulak et CEO-@ORKI. « Facteurs d'émission : le défi de la précision. » (2023), adresse : <https://wearegreen.io/article/facteurs-d-emission-le-defi-de-la-precision>.
- [45] CarboAcadémie. « L'incertitude d'un bilan carbone : comment est-elle calculée ? » (2023), adresse : <https://www.hellocarbo.com/blog/communaute/incertitude/>.
- [46] ADEME. « Comment réaliser un bilan de gaz à effet de serre pour les émissions de fonctionnement ? » (2014), adresse : https://www.carbone4.com/files/wp-content/uploads/2016/08/tome_2_pour_site.pdf.
- [47] Wallonie. « DUREE DES AMORTISSEMENTS DES BIENS SELON LEUR NATURE (article 22 du Règlement général de la comptabilité communale). » (2018), adresse : https://interieur.wallonie.be/sites/default/files/2018-11/MC_Budget_Com_Annexe-13.pdf.
- [48] IMMOVLAN. « Surface moyenne des logements en Belgique : ils sont de plus en plus petits ! » (2022), adresse : <https://immovlan.be/fr/article/44971/surface-moyenne-des-logements-en-belgique-ils-sont-de-plus-en-plus-petits>.

- [49] Accountable. « Comment calculer l'amortissement : guide pour les indépendants en Belgique. » (2023), adresse : <https://www.accountable.eu/fr/blog/calcul-amortissement-belgique/>.
- [50] Wallonie. « Photovoltaïque - S'informer sur le tarif prosumer. » (2023), adresse : <https://www.wallonie.be/fr/demarches/photovoltaïque-sinformer-sur-le-tarif-prosumer>.
- [51] OID. « Décryptage : Les fluides frigorigènes. » (2019), adresse : https://resources.taloe.fr/resources/documents/6455_190322_FichID_Fluides-Frigorigenes_et_comptabilite_carbone.pdf.
- [52] Airton. « Climatiseur réversible Monosplit - Pompe à chaleur Air Air (PAC). » (2023), adresse : <https://eu.airton.shop/products/climatiseur-fixe-2500w-8500btu-wifi-ready-monosplit?variant=39879583072279>.
- [53] Energie+. « Consommation d'eau chaude sanitaire. » (2021), adresse : <https://energieplus-lesite.be/donnees/consommations2/consommation-d-eau-chaude-sanitaire/>.
- [54] Viessman. « Pourquoi réduire la température de stockage de l'eau chaude sanitaire? » (2023), adresse : <https://www.viessmann.fr/fr/services-et-assistance/faq/maintenance/reduction-temperature-eau-chaude-sanitaire.html>.
- [55] Engie. « Tout comprendre sur le rendement des chaudières gaz. » (2023), adresse : <https://particuliers.engie.fr/depannages-services/conseils-equipements-chauffage/conseils-chaudiere/rendement-chaudiere-gaz.html>.
- [56] ENGIE. « La chaudière au mazout : prix, entretien, rendement, installation ... » (2023), adresse : https://www.engie.be/fr/blog/chauffage/ABD-de-chaudiere-mazout/?error=login_required&state=1022f5ee-4ad5-4c48-b095-c410e1e43ea9.
- [57] BOBEX. « Chaudière bois : avantages, inconvénients et prix. » (2023), adresse : <https://www.bobex.be/fr-be/chaudiere/bois/>.
- [58] État-de-l'environnement-wallon. « Gaspillage alimentaire et comportement des Wallons. » (2023), adresse : <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/MEN%20Focus%202.html>.
- [59] Q.-N. C. @TIBI, « Déchets organiques TIBI, » Mail échangé avec la Cheffe de Service Adjointe Stratégie, Etudes et Statistiques de TIBI le 14 Décembre 2023.
- [60] Sindra. « Densité des déchets. » (2023), adresse : <https://www.sindra.org/les-dechets-en-auvergne-rhone-alpes/dechets-non-dangereux/fonctionnement-de-sindra/densite-des-dechets>.

- [61] Stock-Ath. « Sac bleu PMC 60L. » (2023), adresse : <https://www.stock-ath.be/fr/catalogue/produit/SAC-BLEU-PMC-FOST-PLUS-60L/#:~:text=Sacs%20poubelle%20bleu%20d'une,pour%20le%20tri%20des%20PMC..>
- [62] BtoBeer. « Catalogue bouteille. » (2023), adresse : <https://www.btobeer.com/materiels-fournitures-brasserie/catalogue-bouteilles-de-biere>.
- [63] Sirius-insight. « Les Belges en vacances : du neuf à l'horizon ? » (2021), adresse : <https://siriusinsight.be/article-blog/analyse-belges-vacances-donnees/#:~:text=Rappelons%20ce%20qui%20semble%20%C3%A9vident,d'avant%20la%20crise%20sanitaire..>
- [64] Wallonie et IWEPS. « NOMBRE ET TAILLE DES MÉNAGES. » (2023), adresse : <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/nombre-et-taille-des-menages/>.
- [65] tolesdebardage. « TÔLE DE TOITURE. » (2023), adresse : https://tolesdebardage.be/product/tole-de-toiture-40-250-1000/?attribute_pa_longueur=200-cm&attribute_pa_anti-condensation=non&attribute_pa_kleur=gris-anthracite-ral-7016&utm_source=Google%20Shopping&utm_campaign=toles&utm_medium=cpc&utm_term=331&gclid=CjwKCAiApaarBhB7EiwAYiMwqo7xXxHua1Gu_oKUxfwcYBINqC1a6jflfCDgMoJ8TUIi-JsE56hoC1hMQAvD_BwE.
- [66] ACIANOV. « Les Aciers. » (2023), adresse : <https://www.acianov.fr/des-matieres/acier?4759179dd26d12c8ea7c52bb1a81a2d7=623013a33c3a9be69365c3ffc579>
- [67] COVERIT. « Préau scolaire en polycarbonate. » (2019), adresse : <https://coverit.be/abris-alternatifs/preau-polycarbonate/>.
- [68] ToitureOnline. « Plaque polycarbonate compact transparent 4 mm 0,5 m x 0,5 m. » (2023), adresse : <https://www.toiture-online.com/plaque-polycarbonate-massif-4-mm-transparent.html>.
- [69] Comparateur-energie. « Comprendre sa facture de gaz : conversion de m3 en kWh. » (2022), adresse : <https://www.comparateur-energie.be/blog/conversion-des-m3-en-kwh/>.
- [70] socialenergie. « Unités de mesure. » (2020), adresse : <https://www.socialenergie.be/fr/consommation/connaitre-la-consommation/unites-de-mesure/>.
- [71] C. F. Bourgois, « Chaudières à bois, » Mail échangé avec Frédéric Bourgois administrateur délégué et responsable technique de Coopeos le 15 Novembre 2023.

- [72] Chauffage-sanitaire-Duvivier. « Equivalences énergétiques. » (2022), adresse : https://www.duvivier.lu/equ_ener_fr.php.
- [73] The-world-Bank. « Electric power transmission and distribution losses. » (2014), adresse : <https://data.worldbank.org/indicator/>.
- [74] Fédération-Wallonie-Bruxelles. « Les rythmes scolaires. » (2023), adresse : [https://pactepourunenseignementdexcellence.cfwb.be/mesures/les-rythmes-scolaires/#:~:text=Le%20Pacte%20pour%20un%20Enseignement,\(182\)%20reste%20donc%20identique..](https://pactepourunenseignementdexcellence.cfwb.be/mesures/les-rythmes-scolaires/#:~:text=Le%20Pacte%20pour%20un%20Enseignement,(182)%20reste%20donc%20identique..)
- [75] STATBEL. « Parc de véhicules. » (2023), adresse : <https://statbel.fgov.be/fr/themes/mobilite/circulation/parc-de-vehicules>.
- [76] TEC. « Rapport annuel 2022. » (2023), adresse : <https://rapportannuel.letec.be/rapport/#amelioration-offre-transport>.
- [77] A. Meyers, « Quantité de feuilles utilisées sur un an, » Mail échangé avec le professeur Meyers du Collège du Sacré-Coeur le 27 Novembre 2023.
- [78] Domformateur. « Les vitesses d'autocars autorisées en Europe. » (2023), adresse : <https://www.domformateur.com/pages/transport-de-voyageurs/les-vitesses-autorisees-en-europe.html#:~:text=En%20France%20%3A%20Passagers%20debouts%20%3D%2070,%C3%A0%204%20voies%20et%20autoroutes..>
- [79] Dataero. « Quelle est la vitesse d'un avion de ligne ? » (2017), adresse : <https://www.dataero.fr/quelle-vitesse-vole-avion/>.
- [80] LeFigaro. « Quels sont les trains les plus rapides du monde ? » (2022), adresse : [https://www.lefigaro.fr/voyages/conseils/quels-sont-les-trains-les-plus-rapides-du-monde-20210414#:~:text=TGV%20\(France\),-La%20France%20dispose&text=Les%20rames%20de%20la%20SNCF,l'Espagne%20et%20le%20Japon..](https://www.lefigaro.fr/voyages/conseils/quels-sont-les-trains-les-plus-rapides-du-monde-20210414#:~:text=TGV%20(France),-La%20France%20dispose&text=Les%20rames%20de%20la%20SNCF,l'Espagne%20et%20le%20Japon..)
- [81] Code-de-la-route. « Limitations de vitesse. » (2023), adresse : <https://www.code-de-la-route.be/fr/en-savoir-plus/explication-du-code-de-la-route/limitations-de-vitesse>.
- [82] AEI-voyages. « Destinations. » (2023), adresse : <https://aei-voyage.be/destinations/>.
- [83] AGRIBALYSE. « base de données agribalyse. » (2023), adresse : <https://doc.agribalyse.fr/documentation/>.
- [84] Nos-gestes-climats. « Empreinte de 14 repas. » (2023), adresse : <https://nosgestesclimat.fr/documentation/alimentation/plats>.

- [85] H. Watt. « Comment calculer la consommation moyenne de gaz d'une maison de 100 m²? » (2023), adresse : <https://www.hellowatt.fr/suivi-consommation-energie/consommation-gaz/maison>.
- [86] SPF.Economie. « Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020. » (2022), adresse : <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>.
- [87] Eau-Selectra. « Consommation eau douche : calcul et conseils économies. » (2022), adresse : <https://eau.selectra.info/consommation/douche>.
- [88] M-Habitat. « La consommation en eau : douche contre baignoire. » (2023), adresse : https://www.m-habitat.fr/plomberie-et-eau/consommation-d-eau/quelle-est-la-consommation-en-eau-d-une-douche-902_A.
- [89] IEA. « The carbon footprint of streaming video : fact-checking the headlines. » (2020), adresse : <https://www.iea.org/commentaries/the-carbon-footprint-of-streaming-video-fact-checking-the-headlines>.

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
École polytechnique de Louvain

Rue Archimède, 1 bte L6.11.01, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique | www.uclouvain.be/epl