



LIVRE BLANC - MAI 2020

Facteur 4 - Facteur 6

Quelles incidences sur le mode de vie individuel ?

Quelles conséquences macro-économiques sur l'outil de production national ?

Combien de CO₂ dans la vie quotidienne pour être en paix avec le climat ?

Usé par la société de consommation où l'on trouve du cheval dans des lasagnes de bœuf, du travail d'enfants dans les coutures des tee-shirts, du sang d'orang-outan dans les frites, chips, biscuits apéritifs, savons, shampoings... et aussi des quantités diverses de pétrole, de canicules, de saisons brunes, de motifs de guerre de l'or noir, de corruptions, de conflits locaux, globaux, sociaux aux quatre coins du monde et dans le moindre acte d'achat quotidien ?

L'analyse qui suit tente d'apporter quelques chiffres cadres et lignes directrices qui devraient permettre aux plus volontaires de prendre un peu de distance avec cette cécité collective, en ce qui concerne le changement climatique. Ce faisant, cela participera au maintien des grands équilibres naturels qui permettront à la nature et aux services qu'elle nous rend de perdurer.

La prise de conscience qui en résulte offre aussi l'opportunité d'entreprendre des changements au niveau d'un territoire pour permettre aux résidents de gagner en indépendance et d'améliorer leur résilience face aux enjeux du changement climatique.

Au regard de l'objectif quantitatif mentionné dans le projet de Stratégie Nationale Bas-Carbone¹ publié en décembre 2018, comment bien vivre avec 2 tCO₂e par an ? C'est le quota que doit tenir un humain du 21^{ème} siècle qui souhaiterait offrir une chance de vie paisible à ceux du 22^{ème} siècle. C'est aussi une équation difficile à résoudre dans notre société actuelle. Nous exposons ci-après les solutions que nous avons adoptées.

Ce Livre Blanc a été réalisé par Objectif Carbone. Il est le fruit d'une dizaine d'années d'expérience et de réflexion.

Pour plus de précisions, écrivez-nous : info@objectifcarbone.org

Retrouvez-nous sur les réseaux sociaux :



www.objectifcarbone.org

SOMMAIRE

1 Préambule.....	4
2 Rationnel quantifiant l'objectif individuel à se fixer.....	5
2.1 Rationnel au regard de l'évolution des émissions françaises.....	5
2.2 De la notion de « facteur 4 » à « facteur 6 », selon le référentiel.....	7
3 Traçabilité du CO ₂ dans la vie quotidienne.....	8
3.1 Les étiquettes énergie.....	8
3.2 Le développement d'outils d'évaluation plus élaborés.....	9
4 Déclinaison du « panier CO ₂ e individuel » de 2 t/an.....	9
4.1 Pourquoi 450 kgCO ₂ /an pour se déplacer ?.....	10
4.2 Pourquoi 350 kgCO ₂ /an pour se loger ?.....	22
4.3 Pourquoi 540 kgCO ₂ e/an pour se nourrir ?.....	29
4.4 Pourquoi 660 kgCO ₂ e/an pour s'équiper, ses loisirs et les divers ?.....	45
5 Annexes.....	50
5.1 Tableaux et documents.....	50
5.2 Sources.....	52

1 PRÉAMBULE

En matière de politique climatique, la France s'est engagée sur la voie du « Facteur 4 » : réduire d'ici à 2050, de 75% le volume de ses émissions anthropiques (induites par l'activité humaine) de gaz à effet de serre recensées en 1990. Si l'ensemble de l'Europe procède ainsi, et que globalement l'humanité (qui engendre en moyenne deux fois moins de GES par habitant que les européens) divise par deux ses émissions, alors la communauté scientifique s'accorde largement à envisager que le climat se stabilisera au stade de dérèglement auquel il se trouvera lorsque cet objectif de réduction sera atteint.

Si la concentration atmosphérique de CO₂ atteint en 2050 de l'ordre de 500 ppmv contre 180 ppmv avant notre ère industrielle, on attend en retour une augmentation de T° moyenne de +2,2°C, des dérèglements climatiques et des conséquences directes plus extrêmes et plus fréquentes que ce que l'on connaît actuellement (sécheresses répétées, pluies diluviennes, cyclones, incendies de forêts, inondations, tensions sur les marchés agricoles, famines, flux migratoires, pillages, conflits armés...).

Lorsqu'il s'agit d'un projet d'aménagement de territoire, une des premières préoccupations pourrait être d'offrir aux résidents et usagers, un cadre de vie compatible avec cette ambition de mode de vie décarboné. Il s'agirait de faire en sorte que le plus grand nombre d'entre eux y parviennent. C'est aussi un moyen très efficace d'être protégé et résilient vis-à-vis des désordres économiques et sociaux qui surviendront inévitablement avec ces bouleversements climatiques.

Un projet de territoire, pour les résidents, c'est une part significative de leur projet de vie. Dans la démarche visant à généraliser cette ambition nationale du « Facteur 4 », il y a lieu d'envisager que quelques % de la population pourront adopter ce mode de vie dès 2020, pour atteindre peut-être 30% en 2030, puis par exemple 60% en 2040, et enfin l'ensemble de la population en 2050.

Il convient alors de décrire comment peut se décliner cette transition à l'échelle du résident d'un territoire, et de détailler ce que signifie concrètement le facteur 4 à l'échelle nationale dans le mode de vie quotidien d'un foyer. Cela implique de considérer la balance import/export des émissions, c'est-à-dire les émissions de gaz à effet de serre associées à la consommation des Français, y compris celles produites hors du territoire national.

L'approche d'Objectif Carbone est donc d'envisager l'individu comme point d'entrée de cette réflexion et de répondre à la question « **Quels aménagements et animations proposer pour que chaque résident puisse vivre agréablement sans avoir à dépasser le quota individuel que suggère la notion de Facteur 4 ?** ».

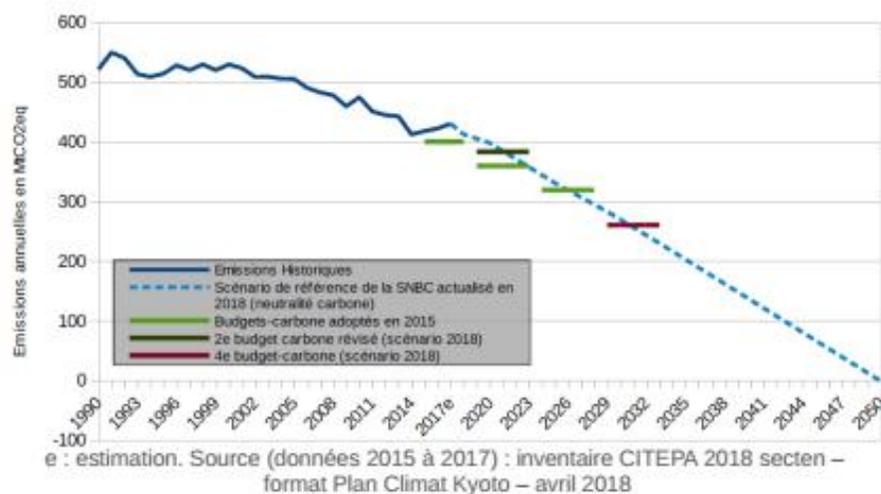
Il s'agit également d'atteindre cet objectif sans reporter sur d'autres pays le soin d'émettre du CO₂ à notre place, notamment en nous fournissant nos équipements les plus carbonés.

2 RATIONNEL QUANTIFIANT L'OBJECTIF INDIVIDUEL À SE FIXER

2.1 Rationnel au regard de l'évolution des émissions françaises

2.1.1 Volume des GES émis dans les années 1990

Figure 1 : Historique et trajectoire des émissions nettes de GES en France entre 1990 et 2050²



Les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont présentées en émissions CO₂ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans³.

En 1990, les émissions de la France (hors UTCATF⁴ et pour 57 millions d'habitants) étaient de 548 millions de tCO₂e, dont 401 MtCO₂, le reste en CH₄, N₂O et gaz frigorigène convertis en équivalent CO₂.⁵

En rapportant à la population de 1990, on obtient une émission annuelle par personne de **9,6 tCO₂e** (7 tonnes de CO₂ plus 2,6 tCO₂e pour les autres gaz).

En intégrant la balance import/export des GES

La balance import/export des émissions n'est pas considérée dans cette méthodologie de calcul. Il convient de noter qu'elle l'est dans le rapport du projet de Stratégie Nationale Bas-Carbone du Ministère de la Transition écologique et solidaire, publié en décembre 2018, qui présente la notion « d'empreinte carbone ». Selon ce rapport, l'empreinte carbone est la contribution nationale au réchauffement climatique du point de vue du consommateur plutôt que de celui du producteur. Elle considère les émissions de gaz à effet de serre associées à la consommation des Français, y compris celles produites hors du territoire national. Il en ressort qu'en 1995, le panier CO₂e de la consommation finale Française s'élevait à 623 MtCO₂e, **soit comme point de départ de notre argumentaire, une empreinte carbone annuelle par personne de 10,5 tCO₂e en 1995.**

2.1.2 Volume des GES émis en 2018

En 2017, les émissions de la France recensées par le CITEPA sont de 465 MtCO₂e, dont 346 MtCO₂, le reste en CH₄, N₂O et gaz frigorigène convertis en équivalent CO₂.

Rapportées à la population de 2017 (66 millions d'habitants) cela représente 7 tCO₂e par habitant (dont 5 tCO₂).

Soit près de 30 ans après 1990, une émission annuelle par personne de **7 tCO₂e** (5 tCO₂ plus 2 tCO₂e pour les autres gaz en 2017), soit une baisse de 27% des émissions de GES par personne depuis 1990.

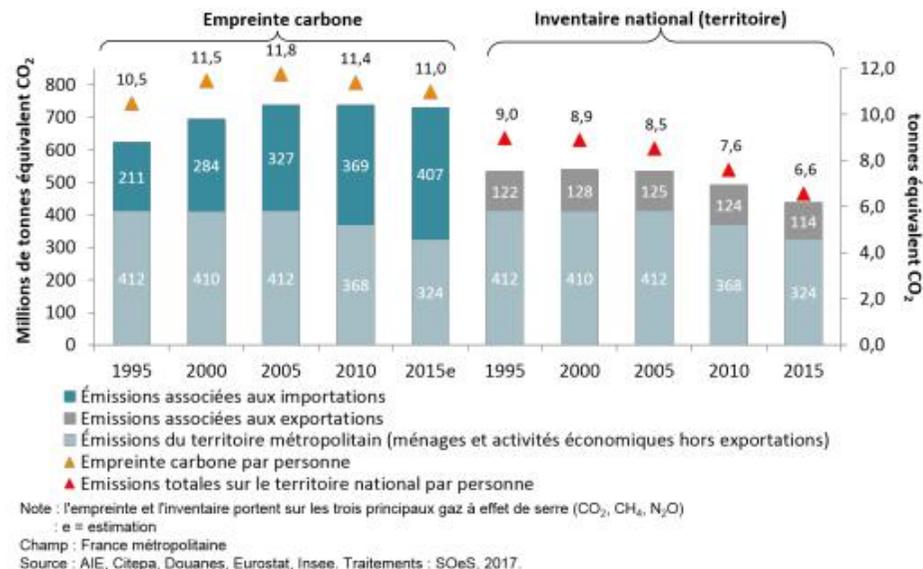
En intégrant la balance import/export des GES

Il en ressort qu'en 2017, le panier CO₂e de la consommation finale française s'élève à 749 MtCO₂e (contre 465 MtCO₂e pris en compte ci-dessus).

Au final, notre panier d'émissions correspondant à notre demande globale serait de l'ordre de **11,3 tCO₂e/personne/an**.

Le rapport du projet de Stratégie Nationale Bas-Carbone rapporte les évolutions des émissions de GES comprises dans l'empreinte carbone (émissions du territoire hors exportations plus émissions liées aux importations) et celles comptabilisées dans l'inventaire national (émissions du territoire dont exportations).

Figure 2 : Comparaison de l'empreinte carbone et de l'inventaire national ⁶



Pour l'empreinte carbone, on constate, depuis 1995, une augmentation de la part des émissions importées, alors que les émissions territoriales diminuent⁷.

2.1.3 Principales évolutions en France depuis 1990

Les principaux faits marquant l'évolution des émissions de GES depuis 1990 sont :

- Dioxyde de carbone (CO₂) relativement stable :
 - o Les émissions de CO₂ en 2017, ce sont 3 postes d'émission représentant chacun de l'ordre d'un tiers du total : le transport, l'industrie, le bâtiment (résidentiel et tertiaire en y affectant leurs consommations d'électricité respectives).
 - o En valeur absolue, les émissions de CO₂ prises globalement sont relativement stables depuis 30 ans avec des variations interannuelles limitées à 5%.

- Méthane (CH₄) en baisse :
 - En valeur absolue, les émissions de CH₄ ont baissé de 16% depuis 1990. Cette baisse provient notamment d'une meilleure maîtrise des émissions fugitives des combustibles et d'une amélioration de la combustion des chaudières. Mais en 2008 déjà, ces émissions ne représentaient plus que 6% du CH₄ émis. C'était un potentiel facile à exploiter, qui l'a été presque intégralement.
 - 75% des émissions restantes de CH₄ en 2008 sont le fait de l'agriculture : la fermentation entérique des ruminants pour 50% et la décomposition anaérobie (sans oxygène) des déjections animales (fumier, lisier, ...) pour 25%. Il n'y a pas eu d'évolution notable depuis 1990. Il n'y a pas de perspective révolutionnaire à venir, sauf à faire évoluer le choix de notre alimentation protéinée pour ce qui concerne la fermentation entérique. Le traitement des déjections animales présente un potentiel important simple à mettre en œuvre et qui n'est pas exploité à ce jour.
 - Les émissions de CH₄ proviennent aussi de la fermentation des déchets en décharge et dans les stations d'épurations. Ce poste pourrait techniquement être traité, par récupération du méthane. Il n'y a pas eu de progrès très significatif depuis 1990 (-20% en 20 ans).
- Protoxyde d'azote (N₂O) en baisse : En valeur absolue, les émissions de N₂O ont baissé de 30% depuis 1990.
 - A hauteur de 70%, cette baisse provient d'une division par 5 des émissions de N₂O dans l'industrie chimique.
 - 75% des émissions restantes sont les suites de l'utilisation d'engrais azotés en agriculture.
- Gaz - Frigorigènes : En valeur absolue, les émissions de Gaz-F ont augmenté de 65% depuis 1990.
 - C'est le résultat d'une multiplication par 100 des émissions liées au développement très rapide de la climatisation dans le tertiaire (qui pèse pour les deux-tiers) et les voitures (un tiers) avec des très petites installations. Les fluides de climatisation représentaient 93% des émissions de Gaz-F en 2008 contre moins de 10% en 1990.
 - En dépit d'une baisse de plus de 80% du principal poste émetteur en 1990 (94% du total des émissions à l'époque) : les émissions de

l'industrie des métaux et des gaz fluorés grâce à une évolution des procédés (maîtrise des fuites sur les grosses installations).

2.2 De la notion de « facteur 4 » à « facteur 6 », selon le référentiel

2.2.1 Facteur 4 pour 2050 à l'échelle nationale

Le « Facteur 4 », c'est diviser par 4 les émissions de la France de 1990 à l'horizon 2050. C'est donc obtenir en valeur absolue :

- $401 \div 4 = 100 \text{ MtCO}_2$
- $147 \div 4 = 37 \text{ MtCO}_2\text{e}$ (concernant les autres GES)

Les projections actuelles de l'INSEE sur la population française à l'horizon 2050 sont de 70 millions de résidents (contre 57 millions en 1990). Avec la population de 2050, on obtient alors les valeurs suivantes par personne :

1,9 tCO₂e/an tout GES confondus, dont :

- 1 428 kg de CO₂
- 528 kgCO₂e (CH₄, N₂O et gaz frigorigènes)

2.2.2 Facteur 6 pour 2050 à l'échelle individuelle

L'objectif quantitatif du projet de Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) mentionne que pour limiter l'augmentation des températures à + 2 °C, il faut viser dès les prochaines décennies une empreinte carbone à l'échelle mondiale de **2 tCO₂e/an/personne**.

En considérant les émissions de GES associées à la consommation des Français, y compris celles produites hors du territoire national, l'empreinte carbone annuelle par personne était de :

- 10,5 tCO₂e en 1995 Facteur 5,2 par rapport à l'objectif **2 tCO₂e**
- 11,3 tCO₂e en 2017 Facteur 5,6 par rapport à l'objectif **2 tCO₂e**

Ainsi le « Facteur 4 » mentionné comme objectif de diminution des émissions à l'échelle de la France se traduit par un « Facteur 6 » environ à l'échelle individuelle, lorsqu'on considère les émissions de GES associées à la consommation des Français, y compris celles produites hors du territoire national.

Cet objectif plus ambitieux est mentionné dans le projet de Loi relatif à l'énergie et au climat, présenté à l'Assemblée Nationale le 30 avril 2019⁸ : « *Les travaux de la SNBC ont montré que cet objectif de neutralité carbone est plus ambitieux que l'objectif précédent de division des émissions de gaz à effet de serre par quatre entre 1990 et 2050 et correspond à une division des émissions par un facteur supérieur à six.* »

L'objet de notre analyse est de déterminer ce que le quota de **2 tCO₂e/an/personne** permet de réaliser avec les moyens technologiques actuels, et de proposer un panier repère « d'impact CO₂ par personne » afin de guider les politiques publiques, et celles concernant l'aménagement du territoire en particulier.

3 TRAÇABILITÉ DU CO₂ DANS LA VIE QUOTIDIENNE

3.1 Les étiquettes énergie

Déjà depuis les années 1990, les prémices d'un chiffrage CO₂ individuel prend corps notamment grâce aux étiquettes énergie que l'on trouve maintenant sur une gamme importante de produits et de services. En 2007, le Grenelle de l'Environnement a largement revitalisé cette dynamique.

- 1992 : les réfrigérateurs et les congélateurs se dotent d'une étiquette énergie.
- 1996, 1998... la démarche est étendue sur l'électroménager : ampoules, lave-vaisselles...
- En mai 2006 : l'étiquette énergie devient obligatoire pour les voitures.
- 2008 : le groupe Casino lance l'étiquette énergie sur une large gamme de produits alimentaires. Leclerc amorce une démarche analogue sur quelques magasins. Cela n'a pas perduré.
- 2011 : au 1^{er} janvier, les logements en location et en vente affichent leur étiquette énergie en vitrine des agences immobilières.
- 2012 : l'étiquetage énergétique/CO₂ des biens de consommation est une des mesures phares du Grenelle et vise à se généraliser dans les années à venir.

L'ensemble de ces démarches en cours permettra à chacun de se familiariser avec les ordres de grandeur en jeu et d'évaluer l'impact de ses propres achats et actes quotidiens en termes d'émission de GES.

L'ambition est qu'une part significative et toujours croissante de la population soit en mesure de suivre ainsi son *impact CO₂*, c'est-à-dire la mesure des émissions GES tous confondus de ses achats et actes quotidiens. C'est dans cette perspective que nous suggérons un panel de valeurs repères des impacts CO₂ individuels par secteur.

3.2 Le développement d'outils d'évaluation plus élaborés

En parallèle de l'étiquetage « énergie-climat », de nombreux outils se développent pour permettre à chacun de mieux appréhender l'impact carbone de son environnement :

- 2007 : mise en ligne du site BilanCarbonepersonnel.org par l'ADEME. Des outils informatiques simples permettant à chacun d'établir ses propres évaluations fleurissent sur internet en France.
- 2009 : Google Earth sert de support pour la cartographie des émissions de CO₂ (projet Vulcain – université de PURDUU - Indiana)
- 2011 : Obligation est faite aux entreprises françaises de réaliser un bilan Carbone. Le décret n°2011-829 du 11 juillet 2011 ne concerne que les entreprises de plus de 500 salariés, et que les émissions directes + l'électricité.
- <https://www.footprintnetwork.org/>
- <https://www.goodplanet.org>
- Calcul de bilan carbone : <http://avenirclimatique.org/>
- Élaboration des Plans Climat Air Energie Territoriaux pour les collectivités
- Bilan GES réglementaires pour les entreprises

4 DÉCLINAISON DU « PANIER CO₂E INDIVIDUEL » DE 2 T/AN

Le choix des valeurs-repères par secteur que nous proposons est le résultat d'arbitrages que nous avons souhaités les plus adéquats entre les aspirations légitimes de notre société et les moyens techniques qu'on suppose disponibles à l'horizon 2050.

Ce modèle pose une hypothèse simplificatrice et donc forcément biaisée de ce que pourrait être un mode de vie compatible « Facteur 6 ». Des variations existeront selon que l'on vit au sein d'un foyer de cinq personnes ou célibataire. Il variera également selon les aspirations de chacun en matière de consommation : voyage, nourriture, produits de consommation...

Ce modèle a néanmoins le mérite d'identifier et de rapporter les ordres de grandeur repères des principales catégories d'impact CO₂.

Nous avons décliné l'ensemble des émissions anthropiques (induite par l'activité humaine) de GES autour de 4 postes principaux d'impact CO₂ : 1- se déplacer, 2- se loger, 3- se nourrir, 4- s'équiper, se divertir et participer au bien commun.

Objectif individuel global pro-facteur 6 : 2 tCO₂e/an

Se déplacer	=> 450 kgCO ₂ /an
Se loger	=> 350 kgCO ₂ /an
Se nourrir	=> 640 kgCO ₂ e/an
<u>S'équiper, se divertir & participer au bien commun</u>	=> 560 kgCO ₂ /an
Σ	= 2 000 kgCO₂e/an

Nous détaillons et illustrons ensuite comment atteindre la valeur-repère pour chaque poste en termes de mode de vie et choix de consommation.

4.1 Pourquoi 450 kgCO₂/an pour se déplacer ?

En 2010 en France, comme dans la plupart des pays développés, le volume de mobilité globale est de l'ordre de 14 000 km/personne/an. Nous constatons la très forte prééminence (82%) de la voiture particulière dans ce mix modal (cf Figure 5, page 13).

L'impact CO₂ de la mobilité est fonction des émissions de GES relatives :

- à l'énergie de traction (électricité ou carburant),
- à l'extraction, à la distribution et à l'acheminement de l'électricité ou du carburant,
- à la construction et à la maintenance du véhicule (voiture, TGV, TER, autocars, avion...),
- à la construction, à l'exploitation et à la maintenance du réseau (route, rail, gare...),
- et au taux de remplissage du véhicule.

Impact CO₂ de la mobilité en voiture :

- En 2010, selon les comptes des transports, le bilan général de la circulation fait état d'un taux de remplissage des voitures particulières de 1,83 personnes à bord en moyenne⁹. Cela permet d'établir l'impact CO₂ de la prestation moyenne de la voiture particulière dans les conditions actuelles de son utilisation à **125 gCO₂/voy.km**
- En 2050, il y a lieu d'envisager que la voiture particulière sera donc deux fois plus performante qu'aujourd'hui. Son impact CO₂ pour un taux de remplissage équivalent de 1,83 personne à bord sera de **61 gCO₂/voy.km**

Impact CO₂ de la mobilité en TGV :

- En 2010, les projets de TGV sont probablement moins efficaces que les premières lignes déjà mises en service, mais conservent néanmoins un profil de « durabilité climatique » de premier ordre avec une prestation proposée à près de **12 à 25¹⁰ gCO₂/voy.km** selon que l'on considère de l'électricité française 2010, ou de l'électricité européenne (UE27) 2010.

- En 2050, Dans les conditions actuelles d'utilisation, avec une seule division par deux de l'impact CO₂ de l'électricité, la prestation s'allégerait à **16 gCO₂/voy.km**

Impact CO₂ de la mobilité en TER ferroviaires et routiers

- **Les TER électriques.** L'impact CO₂ en 2010 est de l'ordre de **40 gCO₂/voy.km** (avec un taux de remplissage moyen de 20%).
- **TER diesel.** L'impact CO₂ en 2010 est de l'ordre de **125 gCO₂/voy.km** (taux de remplissage moyen de 15%, surtout sur des lignes secondaires). **Quels que soient les progrès réalisés par l'exploitant sur l'impact CO₂ connexe, le TER ne peut être performant que s'il atteint des taux de remplissage dignes des heures de pointe en région parisienne.**

Impact CO₂ de la mobilité en transports en commun urbains

- Les transports en commun à traction électrique (Tramway, métro) disposent de taux de remplissage élevés. Ils sont performants dans un contexte d'électricité française, de l'ordre de **15 gCO₂/voy.km**.

Impact CO₂ de la mobilité en transport aérien

- Avec un impact CO₂ de l'ordre de **366 gCO₂/pass.km** pour un vol intérieur, la sanction est sans appel. **Ce mode de transport va devenir un outil de qualification sociale. Ceux qui polluent versus ceux qui ne polluent pas. Et si le CO₂ devient une monnaie d'échange (il était prévu en 2008 que l'Europe instaure des quotas de CO₂ au transport aérien, mais le reste du monde s'y est opposé), la distinction se fera entre ceux qui auront les moyens (financier) et ceux qui ne les auront pas.**

4.1.1 Modèle de mobilité attendue

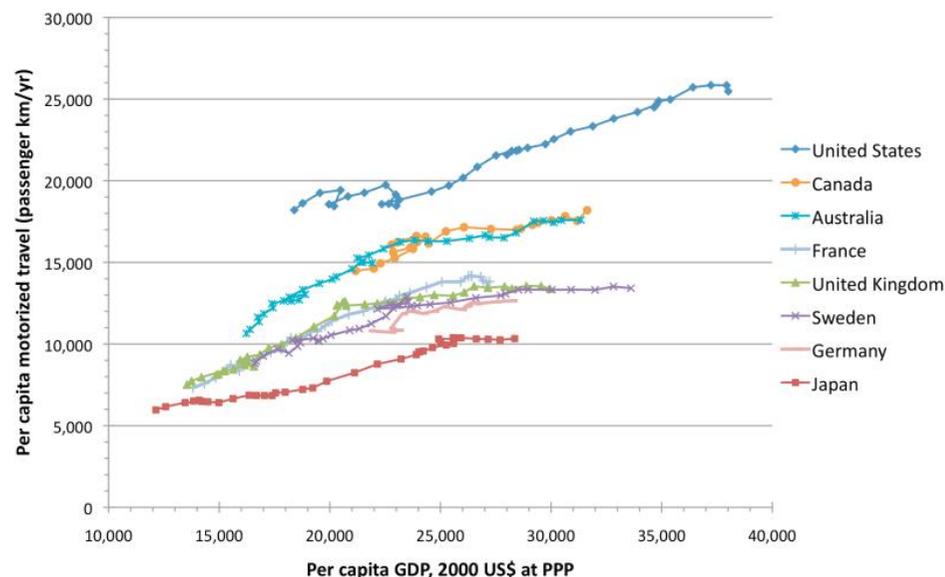
- Compte tenu de la densité de population sur notre territoire et chez nos voisins européens, de la quasi-stagnation depuis 20 ans du volume de mobilité à ~14 000 km/an/personne, nous estimons que d'ici 2050, un modèle basé sur **12 000 km/an/pers** (en moyenne) soit cohérent avec nos aspirations de dynamisme économique et social futur.

- **La voiture utilisée à plusieurs (le covoiturage) apparaît**, dès lors qu'on s'éloigne des hypercentres urbains et que les transports en commun électriques (Tramway, métro, TER, TGV) n'existent pas, comme **le transport en commun le plus écologique et le moins cher pour la collectivité**.
- L'alternative de radicalement moins se déplacer en moyenne pose d'autres problèmes de dynamisme social et économique sur le territoire. Il est nécessaire d'envisager un modèle qui soit à la portée de tous. Nous proposons donc de sensibiliser les citoyens et d'adapter le réseau routier pour que le covoiturage devienne la norme, de manière à **faire monter le taux de remplissage moyen à 3 personnes par voiture** (vs 1,82 actuel).
 - Il convient de s'appuyer largement sur une voiture étiquetée « 80 gCO₂/km », qui engendrera 112 gCO₂/km (fabrication du véhicule, des batteries d'appoint, production d'électricité et consommation du carburant inclus).
 - On aurait alors un impact CO₂ par personne de l'ordre de $12\ 000 \times 112 / 3 = 448\ 000\ \text{gCO}_2/\text{an} = 448\ \text{kgCO}_2/\text{an}$
- Il convient de rappeler qu'un **aller-retour Paris-Nice en avion** émet à lui seul **360 kgCO₂, soit 80% du quota mobilité annuel pro-facteur 6**.

4.1.2 Diagnostic sur la mobilité des personnes dans les pays développés

A l'échelle des pays développés (cf Figure 3), on fait le même constat d'une progression forte de la mobilité entre 1970 et 1995 et d'une relative stabilisation ensuite, pour atteindre en Europe, un niveau de déplacement légèrement inférieur à la France (14 000 km/personne et par an), avec une part modale pour la voiture du même ordre (85%) dans chaque pays. On constate combien les 3 pays les moins denses (États-Unis, Canada et Australie) engendrent une pratique de déplacement plus importante (18 à 25 000 km/an) et à contrario, le Japon très dense reste à un niveau significativement plus modeste (10 000 km/an).

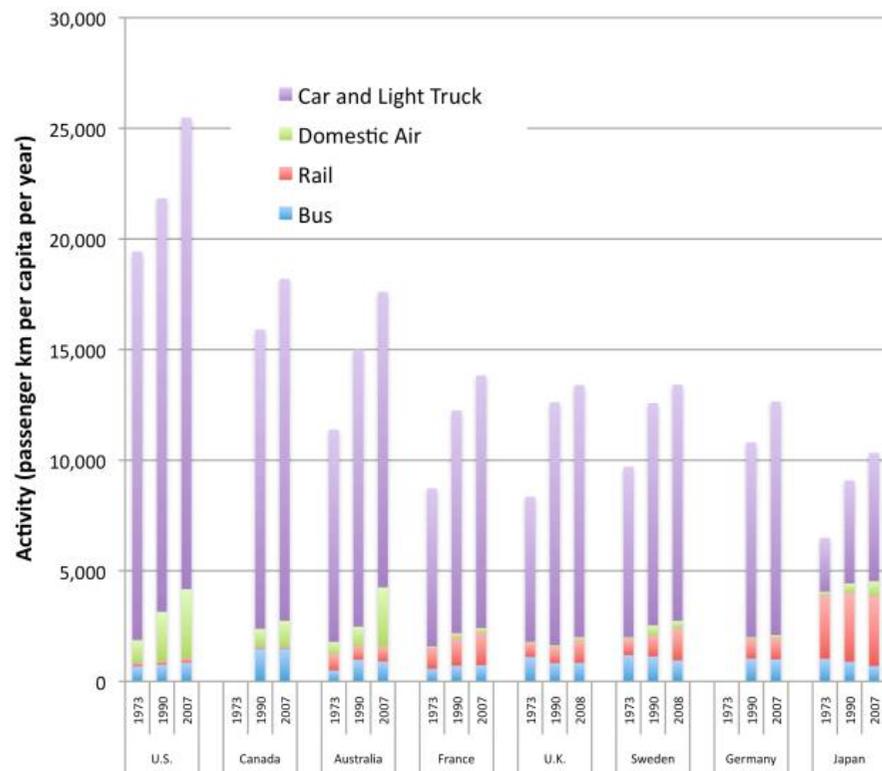
Figure 3 : Evolution du kilométrage parcouru par personne dans 8 pays développés (1970 à 2007)¹¹



Toujours à l'échelle des pays développés, nous constatons la très forte prééminence de la voiture particulière dans ce mix modal (cf Figure 4).

Alors que dans le cas du Japon, très densément peuplé (moyenne de 338 hab/km², mais avec seulement 20% du territoire qui est habitable, donc une densité réelle supérieure à 1 000 hab/km), la part des transports en commun devient significative, à l'image de ce que l'on trouve dans les grandes agglomérations européennes.

Figure 4 : Evolution des parts modales de 1973 à 2008 dans 8 pays développés en voy.km/an¹²



Dans les pays « riches », un plateau du kilométrage annuel parcouru par personne se profile depuis le début des années 2000. La densité de population semble être le principal déterminant de cette abondance de kilomètres : les pays vastes avec une population largement dispersée (Australie, Canada et États-Unis) dépassent 17 000 km/personne/an. Les pays à densité moyenne et homogène (France, RU, Allemagne) sont tous proches de 14 000 km/an/personne (sauf pour la Suisse qui rapportait 14 900 km par personne en 2003 selon le compte des transports¹³). Au Japon, où la population est exceptionnellement dense, la mobilité chute à 10 000 km/an/personne.

Dans tous les cas de figure, la voiture est reine. Il n'y a qu'au Japon où les km parcourus en train pèsent presque autant que ceux parcourus en voiture. Dans ce pays 10 fois plus dense que le France, le train dépasse les 33% de part modale.

4.1.3 Diagnostic sur la mobilité des personnes en France¹⁴

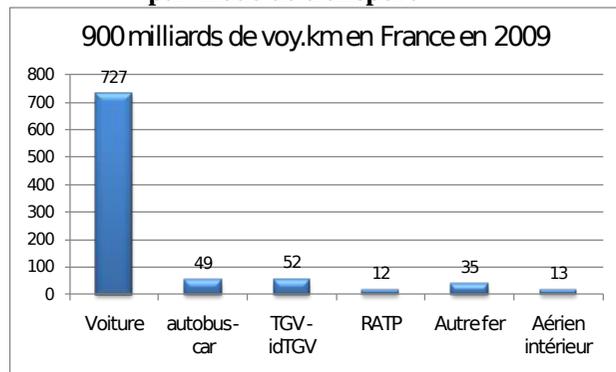
L'analyse des comptes des transports 2010 en France aboutit aux mêmes conclusions que ci-avant, avec plus de détails sur les volumes de chaque mode de transport (cf Figure 5).

La mobilité sur le territoire se caractérise principalement par les chiffres clés suivants¹⁵ : (Gvoy.km = milliard de voyageurs kilomètre). En 2010 :

- 730 Gvoy.km en voiture (1,8 personnes/voiture) 82%
- 50 Gvoy.km en autobus & autocar 6%
- 53 Gvoy.km en TGV 6%
- 33 Gvoy.km en train hors TGV 4%
- 12 Gvoy.km en métro 1%
- 13 Gvoy.km en avion (vols intérieurs) 1%

Σ = 891 Gvoy.km total 100%

Figure 5 : Détail de la mobilité des personnes en France en voy.km en 2009 par mode de transport¹⁶



L'analyse des données du ministère de la transition énergétique¹⁷ sur les déplacements domicile – travail et l'analyse des voyages à longue distance nous ont permis de déterminer que :

- Environ 25% de la circulation automobile (en voiture particulière - VP) concerne les trajets domicile – travail. Une valeur qui variait peu d'un département à l'autre selon les données du recensement de 1999
- 17% de la circulation de voiture particulière (VP) concerne des trajets de plus de 100 km.

Par déduction, 58% de la circulation concerne les autres motifs de déplacements locaux : achat, accompagnement, visites, loisirs..., ils font moins de 100 km et sont donc essentiellement de la mobilité locale (à l'échelle d'un département)

Mobilité globale en France en 2010

La mobilité des personnes en France est stabilisée depuis 10 ans environ, alors qu'elle avait quasiment doublé entre 1970 et 2000.

La mobilité totale de 891 Gvoy.km ramenée par habitant (65 millions en 2010) représente près de **14 000 km par personne/an** (cohérent avec la Figure 3 pour la France en 2008).

*Il convient cependant de ne pas oublier la mobilité à l'extérieur du territoire (de l'ordre de 70 milliards de voy.km en avion – 1 200 km par personne) et celle des étrangers nous rendant visite. Mais cette mobilité fait appel à des moyens qui ne sont pas en concurrence (avion versus voiture et train) avec ceux énoncés ci-dessus. **L'impact du transport aérien hors de nos frontières doit donc être écarté pour être traité distinctement, dans le chapitre « tout le reste ».***

4.1.4 Diagnostic sur l'impact CO₂ des différents modes de transport

De nombreuses études détaillent l'impact CO₂ du voy.km en France. Elles présentent trop souvent des biais ou des absences de précisions qui ne permettent pas de les utiliser en dehors d'un contexte très précis.

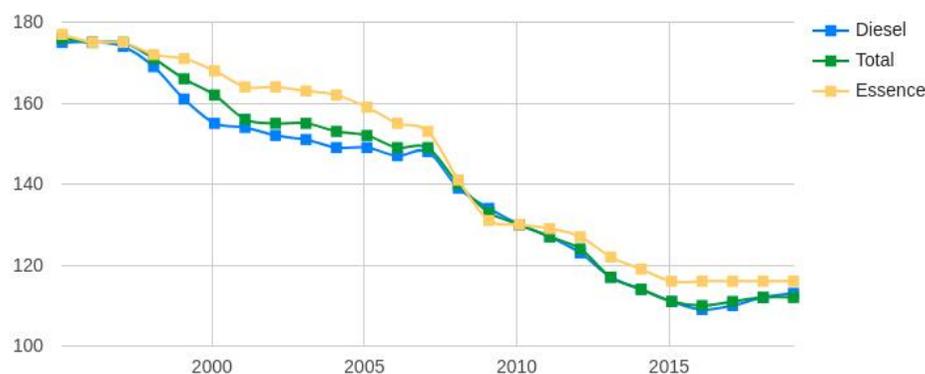
Nous avons nous-même réalisés de nombreuses études dans le domaine ferroviaire¹⁸ français et sur les réseaux de transport en commun par autocar régionaux et départementaux. Nous tentons ci-après de contourner cette difficulté en établissant l'analyse à l'amont de ces éléments tendancieux que sont l'impact CO₂ de l'électricité et le taux de remplissage des moyens de transport.

Nous nous appuyons donc principalement sur nos études internes citées ci-avant. En général, lorsque les contextes sont équivalents, nos résultats recoupent bien les conclusions que l'on obtient dans la littérature générale sur le sujet.

4.1.4.1 La voiture particulière : état des lieux

Comme mentionné ci-avant, le mode de transport préféré et le plus utilisé est la voiture. Son plébiscite est croissant. Depuis quelques années son efficacité énergétique s'est significativement améliorée.

Figure 6 : Evolution des émissions de CO₂ des voitures neuves vendues en France depuis entre 1995 et 2020¹⁹



Des objectifs européens, comprenant des pénalités financières pour les constructeurs, ont déjà été fixés :

- 120 g en 2015
- 95 g en 2020

L'impact CO₂ du veh.km en condition réelle d'utilisation :

Dans la pratique, les voitures particulières en circulation en 2010²⁰ ont consommé 9,344 millions m³ d'essence et 17,7 millions de m³ de diesel pour parcourir 399,7 milliards de veh.km. Cela représente une moyenne de 6,8 l/100 km et une émission totale de 78,6 MtCO₂ dont 11% sont le fait des opérations d'extraction, transport, raffinage et distribution du carburant.

Il convient à ce stade de détailler les écarts entre les éléments de langage de l'industrie automobile et la réalité de l'impact CO₂ du terrain :

- Les voitures vendues en France en 2010 émettent **129 gCO₂/veh.km** (données constructeurs)
- Compte tenu de l'âge moyen du parc (7 ans environ), le parc moyen en circulation est proche de **160 gCO₂/veh.km** (données constructeurs)
- Telles qu'elles sont conduites (par des conducteurs sur la route plutôt que par des laborantins selon un cycle normalisé peut représentatif de la réalité), les voitures particulières en circulation en France engendrent plutôt **175 gCO₂/veh.km** d'émission au pot d'échappement (consommation moyenne selon les comptes des transports de la nation).
- Compte tenu des émissions amont de l'industrie pétrolière (extraction, raffinage, transport, distribution), ces émissions moyennes sont portées à **197 gCO₂/veh.km** (selon les facteurs d'émission de la méthode Bilan Carbone[®]).
- Enfin, l'impact lié à la construction d'un véhicule s'élève à environ 5,5 tCO₂²¹ et sera amorti en moyenne sur 180 000 km, soit 31 gCO₂/veh.km, ce qui porte l'impact de la voiture à **228 g CO₂/veh.km**.
- Et pour terminer, on estime que l'impact lié à la construction et l'entretien des routes rajoutent de l'ordre de 2% à l'ensemble.
 - Nous nous sommes inspirés de l'étude très complète réalisée par COLAS²² en 2003 mais pour laquelle nous avons fait évoluer principalement 3 hypothèses : dans les cas de figures étudiés par COLAS (les routes nationales), ces chaussées voient chacune circuler de 1 000 à 200 000 evp (équivalent voiture particulière) par jour et par sens, les chaussées y sont très bien entretenues et le cycle de vie est amorti sur 30 ans ce qui alourdit la charge d'amortissement. Ils envisagent en conclusion que selon le trafic fort ou faible, l'impact CO₂ de la construction et de l'entretien de la route pèse respectivement de 0,25% à 10% des émissions liées au trafic.
 - Pour notre réseau national, nous amortissons la route sur 60 ans, opérons un entretien minimaliste sur le réseau secondaire (80% du linéaire du réseau) et amortissons l'impact CO₂ du réseau secondaire sur un trafic bien plus faible. On atteint alors **5 gCO₂/veh.km²³** supplémentaire.
- On arrondit l'ensemble à **230 gCO₂/veh.km**.

Impact CO₂ de la mobilité en voiture

Le bilan général de la circulation fait état d'un taux de remplissage des voitures particulières de 1,83 personnes à bord en moyenne²⁴. Cela permet d'établir l'impact CO₂ de la prestation moyenne de la voiture particulière dans les conditions actuelles de son utilisation.

=> **125 gCO₂/voy.km**

En fonction du remplissage l'impact CO₂ de la mobilité en voiture est :

■ 1 personne seule à bord	229 gCO₂/voy.km
■ 2 personnes à bord	115 gCO₂/voy.km
■ 3 personnes à bord	76 gCO₂/voy.km
■ 4 personnes à bord	57 gCO₂/voy.km
■ 5 personnes à bord	46 gCO₂/voy.km

Il convient cependant de noter à ce stade que nous n'avons pas intégré la déduction à faire tenant compte de la part des agro-carburants déjà incorporés très partiellement dans les carburants nationaux. Avec des agro-carburants ayant un impact CO₂ de l'ordre de 50%²⁵ de celui des carburants fossiles, un taux d'incorporation actuel ciblant 10% permettrait une réduction de l'ordre de 10 gCO₂/veh.km, ou encore 5 gCO₂/voy.km, soit de 4%

4.1.4.2 La voiture particulière : perspectives

A ce jour, l'évolution attendue dans les motorisations, dans la réduction de masse des voitures, l'incorporation mesurée d'agro-carburants (y compris du biogaz), et dans le développement des moteurs hybrides rechargeables et tout électrique²⁶ (avec de l'électricité à impact CO₂ moyen européen), permet de poser l'hypothèse d'une division par 2 des émissions de GES au pot d'échappement par veh.km à l'horizon 2050 : **3 litres/100km** en 2050 en moyenne incluant la présence de voitures électriques dans le parc national en tenant compte de la production d'électricité afférente et l'utilisation d'agro-carburants.

On envisage ainsi pour 2050 un parc de véhicules qui afficherait une étiquette énergie moyenne de **80 gCO₂/veh.km**. A ce chiffre, il convient de rajouter pour disposer d'un impact CO₂ « du puits à la roue » :

- l'impact CO₂ en amont, lié à l'extraction, au raffinage et à la distribution du carburant : de l'ordre de 10% pour le diesel et de 14% pour l'essence²⁷. On retiendra **9 gCO₂/veh.km** en moyenne, sans évolution d'ici 2050 (l'exploitation des pétroles non conventionnels augure plutôt une évolution négative de ces émissions amonts).
- l'impact lié à la construction du véhicule. On pose l'hypothèse que les progrès qui porteront tant sur la fabrication des matériaux que sur le processus de montage des véhicules permettra de réduire ces émissions à moins de 3,5 tCO₂ par voiture et qu'elles seront amorties sur 200 000 km, soit **17,5 gCO₂/veh.km**
- 2^{ème} hypothèse, l'incorporation d'agro-carburants compensera l'écart entre la consommation théorique et la réalité de la conduite.
- 3^{ème} hypothèse, on rajoutera **5 gCO₂/veh.km** pour les opérations de maintenance et de renouvellement du réseau routier. Cela représente un progrès important compte tenu d'une baisse importante (un facteur 2 ?) du trafic routier (comme on l'envisage ci-après pour rentrer dans les clous du facteur 6).

On retiendra au final, l'impact moyen sur route de **112 gCO₂/veh.km** pour le parc standard européen, conduit en situation réelle.

Perspectives de l'impact CO₂ de la mobilité en voiture en 2050

En 2050, il y a lieu d'envisager que la voiture particulière sera donc deux fois plus performante qu'aujourd'hui. Elle sera en mesure de proposer selon les configurations d'utilisation, les prestations de mobilité avec les impacts associés suivants :

1,83 personne à bord (taux actuel ²⁸)	61 gCO₂/voy.km
• 1 personne seule à bord	112 gCO₂/voy.km
• 2 personnes à bord	56 gCO₂/voy.km
• 3 personnes à bord	37 gCO₂/voy.km
• 4 personnes à bord	28 gCO₂/voy.km
• 5 personnes à bord	22 gCO₂/voy.km
=> 22 à 112 gCO₂/voy.km	

4.1.4.3 Le TGV : état des lieux

Depuis plusieurs années, tous les projets de LGV font l'objet d'une évaluation précise de l'impact CO₂ de la prestation de mobilité qu'ils proposent (énergie de traction, maintenance, report modal, construction...). Parmi eux, nous avons eu le l'opportunité d'étudier en détail les projets suivants : LGV Rhin-Rhône (2008), LGV Tours-Bordeaux (projet SEA en 2009), LGV Nîmes-Montpellier (projet CNM en 2010), LGV Le Mans – Rennes (Projet BPL en 2010), LGV Bordeaux-Toulouse-Biarritz (projet GPSO).

Pour toutes les lignes, l'impact CO₂ est largement favorable, malgré l'augmentation permanente de la vitesse et de l'énergie nécessaire pour opérer ces réseaux. La fréquentation des trains et les taux de remplissage de ceux-ci constatés sur le réseau existant ou prévu dans les projets permettent d'atteindre une efficacité énergétique bien meilleure que celle proposée par la voiture, même avec une électricité européenne, pourtant quatre fois plus carbonée que l'électricité française.

La trame de calcul de chacun de ces projets est la même. Et les paramètres essentiels ne varient que marginalement car ils conditionnent largement la rentabilité du projet : niveau de circulation ferroviaire, niveau de fréquentation des trains.

L'énergie de traction :

Ainsi, on aura en général des TGV consommant 30²⁹ kWh/km pour des rames circulant à 320 km/h. Chaque train dispose de l'ordre de 700³⁰ places, mais seulement 70%³¹ sont occupées en moyenne, soit 500 passagers par train.

Avec de l'électricité européenne actuelle (300 gCO₂/kWh), l'énergie de traction par voy.km représente **18 g CO₂/voy.km**, mais elle aurait vocation, d'après les objectifs européens, à être divisée par 4 d'ici 2050.

L'impact CO₂ lié à la construction-maintenance :

Pour ce qui concerne l'amortissement des travaux, pour les quelques 800 km de LGV que nous avons étudiés dans le détail, ceux-ci pèsent chacun entre 6 000 et 8 000 tCO₂/km.

En amortissant les opérations de gros œuvre sur 100 ans, les éléments de voie sur 30 ans et les bâtiments sur 50 ans, on obtient un amortissement moyen annuel de l'ordre de 130 tCO₂/an/km. A raison de 50 trains par jour et par sens en moyenne, on aura un amortissement par train de 3,6 kgCO₂/train.km parcouru à répartir sur chacune des 500 places occupées. Soit près de **7 gCO₂/voy.km**. On notera qu'il s'agit d'un amortissement 3 fois supérieur à celui pris en compte pour la circulation en voiture.

Il y a lieu de noter également, compte tenu de la fréquentation actuelle de la ligne LGV n°1 – Paris – Lyon, que la fréquentation y est de l'ordre de 240 trains par jour. En conséquence sa charge d'amortissement tombe alors à **3 gCO₂/voy.km**.

Impact CO₂ de la mobilité en TGV

Au final, les projets actuels de TGV sont probablement moins efficaces que les premières lignes déjà mises en service, mais conservent néanmoins un profil de « durabilité climatique » de premier ordre avec une prestation proposée à près de **12 à 25³² gCO₂/voy.km** selon que l'on considère de l'électricité française, ou de l'électricité européenne (UE27).

4.1.4.4 Le TGV : perspectives

La lutte contre le changement climatique prend forme à l'échelle européenne. Tout porte à envisager :

- Une baisse du contenu carbone de l'électricité en Europe dans des proportions importantes d'ici 2050.
- Une sollicitation plus importante conduisant à un amortissement allégé de l'infrastructure par voy.km (meilleur taux de remplissage, fréquentation de ligne plus importante, incorporation de trafic fret).

Les éléments vont plutôt en faveur d'une baisse significative du contenu carbone de la mobilité TGV dans les décennies à venir sur le réseau programmé à ce jour. La condition essentielle reste que le taux de remplissage soit performant (>70% en moyenne).

Perspectives de l'impact CO₂ de la mobilité en TGV en 2050

Dans les conditions actuelles d'utilisation, avec une seule division par deux du contenu CO₂ de l'électricité (base européenne), la prestation s'allégerait à **16 gCO₂/voy.km**

4.1.4.5 Les TER ferroviaires et routiers : état des lieux

L'analyse détaillée³³ de la fréquentation des services de transport (autocar, bus, train diesel, train électrique) à partir d'enquêtes détaillées de fréquentation par mission et de bases de données de billetterie nous a permis de reconstituer précisément pour chacune des missions rendues par le matériel de transport, la quantité de service rendu, à savoir le nombre de passager.km transportés, et l'impact global de la mission, et donc in fine, le contenu CO₂ de la prestation de mobilité proposée sur chaque mission.

Exemple : Un autocar de 50 places qui relie 2 villes distantes de 28 km : il parcourt d'abord 15 km avec 20 personnes à bord (15 X 20 = 300 km.passagers produits), puis 5 km avec 6 personnes à bord (5 x 6 = 30 km.pass), puis enfin 8 km à vide (0 km.pass) pour rejoindre le terminus. Il aura parcouru 28 km en tout, mis à disposition 1400 siège.km et produit 330 km.pass avec un taux d'occupation des siège.km de 24% (330 / 1400).

Compte tenu du modèle de car utilisé sur cette mission, on retiendra pour cet exemple une consommation de 30 litres/100 km. Il aura engendré pour cette mission, 88 kgCO₂ pour la traction seule. Compte tenu des frais CO₂ connexes (amortissement du véhicule, organisation des gares multimodales, maintenance du réseau routier, ...), on rajoute 33% et on retiendra **117 kgCO₂** pour l'ensemble de la mission.

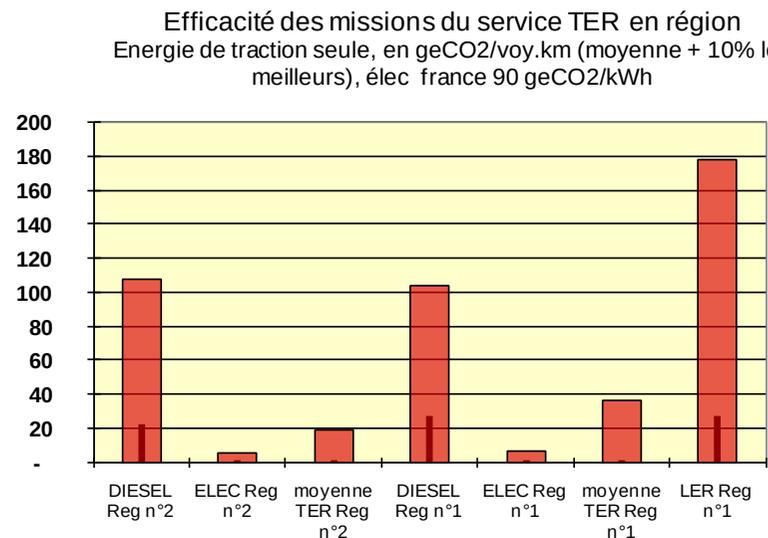
Compte tenu de la production réalisée (330 voy.km), le contenu carbone du service proposé sur cette mission est de 117 kg/330 voy.km = **354 gCO₂/voy.km**.

C'est pire qu'une flotte de 4 X 4 qui transporterait chacun un seul de ces passagers sur son parcours ! C'est aussi la réalité de la majorité des transports interurbains non scolaires rencontrés jusqu'à présent dans nos études (hors lignes de transport privées pour les parcours nationaux et internationaux).

L'énergie de traction : 6 à 18 gCO₂/voy.km en TER électrique³⁴ / **105 g** en TER Diesel / **180 g** en autocar interurbain régional.

Concrètement, nous avons retranscrit ci-dessous ce qui ressort de l'analyse détaillée de plus de 10 000 missions différentes assurées par des trains ou des autocars. Ces missions recouvrent l'ensemble des services de transports en commun organisé à l'échelle régionale sur une semaine complète représentative de l'activité moyenne sur l'année. Cela comprend à la fois les lignes rurales, les lignes reliant les préfectures, en semaine, le WE, le jour, la nuit, en heure pleine et creuse. Toutes les situations existantes sont couvertes : l'offre est analysée de manière exhaustive.

Figure 7 : Impact CO₂ des prestations de transport : Autocar et TER (2010)



Cette analyse a porté sur plusieurs régions françaises. Il est intéressant de constater que d'une région à l'autre, l'impact CO₂ de la mobilité proposée par type de matériel est du même niveau :

- **Les TER diesels** engendrent en moyenne, près de **105 gCO₂/voy.km**, quelle que soit la région étudiée. Le taux d'occupation est hétérogène et induit un impact CO₂ antinomique.
 - Les trains les plus chargés du réseau (75% des sièges occupés en moyenne sur le parcours). C'est 10% des voy.km produits par 1% des missions. Ils présentent la meilleure efficacité CO₂ : leur impact CO₂ est de **25 gCO₂/voy.km**.
 - En contradiction avec les trains les moins chargés. Il s'agit de la moitié des trains diesels qui sont quasiment vides (10% des sièges occupés). C'est 10% des voy.km produits par 50% des missions. Ils présentent une très mauvaise efficacité carbone. **Ceux-là voyagent avec un impact supérieur à 400 gCO₂ : c'est plus qu'une voiture avec conducteur seul qui consommerait 14 litres/100 km.**
- **Les TER électriques** engendrent en moyenne près de **6 gCO₂/voy.km**, quelle que soit la région étudiée (électricité française – c'est 20 gCO₂/voy.km avec électricité européenne).
- Enfin, les **autocars régionaux** (LER, Figure 7, qui n'assurent pas le ramassage scolaire), complètent le dispositif ferroviaire dans les zones les moins denses ou non desservies par le train : la moyenne constatée est de **180 gCO₂/voy.km**. Là encore, le taux de remplissage des cars conditionne l'efficacité. Les 10% des voy.km les plus efficaces produits par les cars sont aussi efficaces que les meilleurs trains diesel, soit **27 gCO₂/voy.km**.

L'impact connexe lié à la maintenance et l'exploitation du réseau ferroviaire : 20 à 30 gCO₂/voy.km

Les réseaux régionaux n'assument plus d'amortissement des travaux comme c'est le cas pour le TGV. En contrepartie, ils assument un poids des opérations de conduite et de maintenance bien plus lourd que le réseau TGV, notamment du fait d'installations particulièrement vétustes et surabondantes par rapport au service produit : plus de personnel, plus de bâtiment à chauffer, plus de matériel et moins de voy.km produit que pour le réseau TGV.

On distinguera 3 types d'impacts connexes :

- **Les travaux lourds, plans rails et assimilés : 5 à 10 gCO₂/voy.km**

Il y a lieu de rajouter de l'ordre de 5 à 10 gCO₂/voy.km lorsqu'un plan rail ambitieux a été mis en œuvre à l'échelle régionale. On retrouve là une valeur proche de l'amortissement d'une ligne TGV pour des travaux bien moins importants qui s'amortissent sur un trafic également beaucoup plus faible. C'est le résultat de nos études sur le réseau RFF et pour le compte de RFF qui nous permettent de nous prononcer ainsi.

- **La maintenance des bâtiments SNCF : 15 gCO₂/voy.km**

Les nombreuses petites gares du réseau sont plus énergivores que les grosses gares TGV. On dépense moins d'énergie par passager à entretenir une série de gares TGV HQE construites à raison d'une gare tous les 400 km de LGV et qui voit passer 100 trains bondés par jour qu'une série de gares SNCF construites à la fin du 19^{ème} siècle, positionnées tous les 10 km d'une ligne qui voit passer 10 trains peu chargés par jour. Il y a de nombreux bâtiments qui n'auraient jamais dû être chauffés.

- **Le renouvellement du matériel : 5 gCO₂/voy.km**

Avec les TER, on dispose d'un matériel qui produit beaucoup moins de voy.km qu'un TGV qui parcourt 1 500 km par jour avec un taux de remplissage de 70%. Également, le matériel TER pèse significativement plus lourd : 1 tCO₂/siège en TER contre 0,7 tCO₂/siège en TGV. Ceci renchérit significativement l'impact CO₂ du matériel TER.

Impact CO₂ de la mobilité en TER & autocar régional

TER électrique	26 à 40 gCO₂/voy.km (sans plan rail à amortir) ³⁵
TER diesel	125 gCO₂/voy.km (sans plan rail à amortir)
L'autocar	220 gCO₂/voy.km ³⁶

4.1.4.6 Les TER ferroviaires et routiers : perspectives

Le TER électrique :

Le niveau de confort maintenu par la SNCF compte tenu de la médiocrité environnementale de son patrimoine immobilier condamne quasiment la prestation qu'elle propose : même le TER électrique flirte à la limite de la probité climatique (établie à 40 gCO₂/voy.km – voir plus loin) pour cette raison.

La rénovation du patrimoine immobilier, et l'amélioration de l'impact CO₂ de l'électricité permettent cependant d'envisager un avenir serein pour le TER électrique. En envisageant les hypothèses suivantes :

- une division par 2 de l'impact CO₂ de l'électricité européenne,
- une division par 5 de l'impact CO₂ du patrimoine bâti,
- et une amélioration de 50% dans la production industrielle de matériel ferroviaire (meilleur process, gain sur la masse et donc sur les matériaux mis en œuvre).

Alors nous atteindrions un impact CO₂ global proche de **16 gCO₂/voy.km** avec les mêmes taux de remplissage qu'actuellement.

Cependant, le coût financier pour la collectivité reste lourd, de l'ordre de 20 c€/voy.km de subvention d'argent public pour seulement atteindre le niveau de performance d'une voiture avec 3 personnes à bord, et qui elle se finance toute seule. La collectivité doit également investir pour que le covoiturage devienne la norme.

Le TER Diesel :

Quels que soient les progrès réalisés par l'exploitant sur l'impact CO₂ connexe, le TER ne peut être performant que s'il atteint (en moyenne, heure creuse, et extrémités de ligne comprises) des taux de remplissages dignes des heures de pointe en région parisienne.

A ce niveau, il peut atteindre le niveau de performance de l'automobile raisonnablement utilisée (3 personnes à bord) tout en coûtant beaucoup plus chère à la collectivité.

Son avenir ne s'appuiera certainement pas sur ses qualités de développement durable, sauf s'il envisage l'électrification ou le carburant alternatif.

4.1.4.7 Les transports en commun urbains : état des lieux

Il s'agit principalement des réseaux de métro, de tramway et de trolley bus. Les taux de remplissages moyens sont bien supérieurs à ceux rencontrés sur les trafics TER régionaux.

Les données standards de l'ADEME donnent **7 gCO₂/voy.km**, mais pour de l'électricité française, donc plutôt 20 gCO₂/voy.km dans un contexte européen. Rajoutons **7 gCO₂/voy.km** pour l'amortissement de la construction³⁷, soit de **14 à 27 gCO₂/voy.km** (selon que l'on considère de l'électricité française 2010, ou de l'électricité européenne (UE27) 2010).

4.1.4.8 Le transport aérien : état des lieux

Avion – vols intérieur : **366 gCO₂/km.pax**

La sanction est sans appel. Ce mode de transport va devenir un outil de qualification sociale. Ceux qui polluent versus ceux qui ne polluent pas. Ceux qui auront les moyens et ceux qui ne les auront pas.

Pour les vols intérieurs, et même au niveau européen, le réseau de LGV et les NTIC devraient permettre de réduire le recours à l'avion sans encombre social ni économique.

Pour les vols intercontinentaux, il y a lieu de penser qu'avant longtemps, l'homme ne pourra plus voyager autant qu'une élite a pu le faire depuis les années 70 et jusqu'à présent, aussi loin, et aussi vite. L'arrêt de l'exploitation du Concorde et l'absence de remplaçant est sans doute déjà un signe explicite qui illustre cette évolution.

4.1.5 Synthèse des perspectives 2050 d'efficacité carbone des modes de transports

Le tableau suivant résume les principales options :

Tableau 1 : Synthèse de l'efficacité carbone des modes de transports

En gCO ₂ /voy.km	2010 élec EU27 - 300 gCO ₂ /kWh)	2050 (élec EU 150 gCO ₂ /kWh)
Voiture 1 personne/voiture	229	112
Voiture 1,83 personne/voiture	125	61
Voiture 3 personnes/voiture	76	37
Voiture 5 personnes/voiture	46	22
TGV	25	16
TER Diesel - Top 10 (remplissage 75%)	45	30
TER Diesel - moyenne (remplissage 15%)	125	100
TER Diesel - trop vides (remplissage 10%)	>400	
TER électrique - moyenne - remplissage 20%	40	16
Autocar	220	180
Tramway	27	17

L'analyse détaillée du contenu carbone de ces multiples modes de transports en commun a permis de constater les points suivants :

- **TER électrique :**

- Les transports en commun à traction électrique (TGV, TER, Tramway, métro) concernent les lignes les plus fréquentées, disposant de taux de remplissage élevés.
- Ils sont performants dans un contexte d'électricité française, de l'ordre de **15 gCO₂/voy.km**, amortissement de l'infrastructure compris, avec des taux de remplissage courants – 70% pour les TGV.
- Dans un contexte d'électricité européenne qui a vocation à s'améliorer d'ici 2050 (soumis à la logique des quotas européens

ETS), les TC électriques offrent dès aujourd'hui et en général des prestations inférieures à **40 gCO₂/voy.km**.

- **TER diesel:**

- A taux de remplissage équivalent, les transports en commun thermiques (TER diesel, autocar) atteignent le même ordre de performance que la voiture, **~50 gCO₂/voy.km**
 - Une voiture pleine (5 personnes) consomme 1,2 litre par personne/100 km (6 litres/100 km).
 - Un autocar plein (50 personnes), consomme 0,7 à 1,2 litre par personne/100 km selon le type de parcours (TER routier rural – 35 ltr/100 km, Autobus urbain, 60 litres/100 km).
 - Un TER plein (100 personnes) consomme 100 litres/100 km, soit encore 1 ltr/km/passager.
- Au minimum, une voiture qui roule dispose d'un taux de remplissage de 20%. Cela garantit un plancher d'efficacité à **229 gCO₂/voy.km**, qui reste néanmoins très médiocre.
- Au minimum, et c'est souvent le cas, les TER diesel, autocars et autobus, roulent avec des taux de remplissage très inférieurs (0 à 5%, tels les retours à vide pendant les heures de pointes « domicile – travail », les heures creuses), entraînant **un déficit économique aussi désastreux que son impact écologique**.
- Les perspectives d'amélioration pour chacun de ces modes sont du même ordre.

4.1.6 Proposition d'un modèle de mobilité pour 2050

Compte tenu de la densité de population sur notre territoire et chez nos voisins européens, de la quasi-stagnation du volume de mobilité par personne à ~14 000 km/an/personne, en dépit de l'augmentation du pouvoir d'achat depuis 10 ans, nous estimons que d'ici 2050, un **modèle basé sur 12 000 km parcourus par an et par personne** (en moyenne) soit cohérent avec nos aspirations de dynamisme économique et social futur.

Nous souhaitons parcourir 12 000 km par an, de préférence en voiture : nous avons la voiture, le réseau routier, et l'habitude d'emmener promener la première sur le second.

Un report massif sur le TGV reviendra cher. Une seule place dans un TGV revient pratiquement au coût marginal du km en voiture, qui permet pourtant de transporter 5 personnes.

Un report massif sur le tramway et métro : c'est déjà le cas dans les hyper-centres des grandes agglomérations. Les financements des projets de métro sur le grand Paris montre les limites de développer de tels réseaux à grande échelle pour élargir sa capacité à absorber la mobilité automobile actuelle. Les réseaux de bus sont sans doute les plus à même de remplacer la voiture. La marge de manœuvre se situe donc au niveau du taux de remplissage des véhicules.

Nous pensons qu'il est socialement aussi difficile d'amener les gens à renoncer à la voiture seuls pour monter dans un bus et attendre que les deux tiers des sièges soient occupés pour partir, que de faire pareil pour amener les gens à monter dans la voiture d'un autre et attendre qu'ils soient 3 pour prendre la route.

Autrement dit, compte tenu de la place de la voiture dans notre mobilité actuelle, du fait qu'elle soit bien prise en charge financièrement par les résidents (matériel, énergie et chauffeur non subventionné), la voiture apparaît à l'extérieur des hyper-centres urbains et lorsque les transport collectif électriques n'existent pas, comme présentant les mêmes perspectives écologiques que les transport en commun thermiques pour une efficacité financière beaucoup plus performante et une meilleure acceptabilité sociale. **La voiture à plusieurs (à 3,5) : le transport collectif le plus écologique et le moins cher pour la collectivité, en dehors des hyper centres urbains et des TGV.**

Conclusion « Je me déplace »

Pour continuer de parcourir demain 12 000 km par an, il convient donc de s'appuyer largement sur une voiture étiquetée « 80 gCO₂/km », qui engendrera (en 2050) **112 gCO₂/km** (fabrication du véhicule, raffinage du carburant et amortissement de la route compris).

Avec les taux de remplissage que l'on connaît (1,2 personne par voiture en trajet quotidien, >2,5 personnes par voiture en trajet longue distance et 1,8 personne par voiture en moyenne), cela engendrera 12 000 km x 112 g / 1,8 = 746 kgCO₂/an. C'est beaucoup trop pour l'objectif individuel global pro-facteur 6 de 2 tCO₂e/an tout GES confondus.

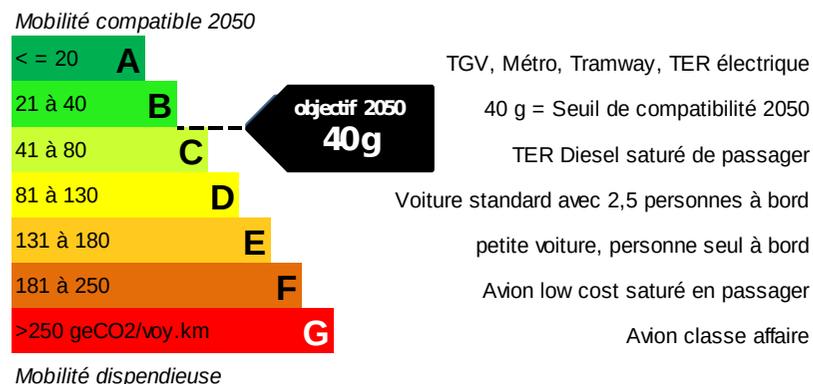
L'alternative de radicalement moins se déplacer en moyenne pose d'autres problèmes de dynamisme social et économique sur le territoire. Il est nécessaire de réfléchir à un modèle qui est à la portée de tous. **Nous proposons donc d'organiser la société et le réseau routier en particulier pour faire monter ce taux de remplissage à 3 en moyenne.**

On aurait alors impact CO₂ moyen par personne de l'ordre de 12 000 x 112 / 3 = 448 000 gCO₂/an = **448 kgCO₂/an.**

=> Objectif 450 kgCO₂ par an pour se déplacer soit ~40 gCO₂/voy.km

Cela pourrait bien sûr varier selon les activités des personnes et les choix de chacun sur différents points de fonctionnement, mais jamais le taux de remplissage ne semble pouvoir s'offrir le luxe de la « voiture seul, enfin seul ! »

Figure 7: Proposition d'étiquette énergie pour la mobilité tout compris



4.2 Pourquoi 350 kgCO₂/an pour se loger ?

Dans le neuf, l'impact carbone du poste « habitat » comprend le poids de sa construction et sa charge d'exploitation (chauffage, éclairage...) :

- On préconise d'attribuer forfaitairement à l'acte de construire un budget de **150 kgCO₂/an/personne** occupant un logement construit entre 2015 et 2050. Et pour que cette charge de 150 kgCO₂/an/personne ne leur soit pas insupportable, il faut réellement que les logements BBC construits à cet horizon aient un impact d'exploitation (chauffage, éclairage...) très décarboné.
- Pour la consommation d'énergie du logement, on suggère de ne pas dépasser **200 kgCO₂/an/personne**.
- Soit **350 kgCO₂/an/personne** pour le poste « se loger » pour ceux qui vivront dans un logement neuf (construit après 2012).

Dans l'ancien, l'impact CO₂ du poste « habitat » comprend essentiellement le poids de sa charge d'exploitation (chauffage, éclairage...). Le poids de sa rénovation reste marginal car peut être facilement léger en termes de CO₂ :

- On suggère de ne pas dépasser **350 kg/an/personne** pour la charge d'exploitation du logement rénové.
- La solution 350 kg/an/personne est une cote mal taillée car le parc existant de logements à rénover n'est pas égal devant la contrainte CO₂.

Que ce soit pour la construction de logements neufs, ou pour la rénovation, il existe un large panel de solutions courantes sobres en énergie et dont la maîtrise arrive à maturité dans des conditions économiques raisonnables.

- Isolation de l'habitat ;
- Chauffage au bois, pompe à chaleur, ballon d'eau chaude thermodynamique, utilisation de l'énergie solaire ont un impact raisonnable alors que l'utilisation de l'énergie fossile (gaz, fioul) est hors-jeu ;
- Utilisation de l'électricité certifiée renouvelable.

4.2.1 Contexte actuel et évolutions réglementaires

La situation actuelle du bâtiment n'est pas tenable en l'état. En assumant près d'un tiers de l'impact CO₂ national (électricité incluse), le parc existant va devoir faire des efforts importants si l'on souhaite atteindre le facteur 6.

Il ne fait aucun doute que d'ici 2050, l'intégralité du parc immobilier (tertiaire et logement) devra passer au crible de l'économie de l'énergie ou à minima de celle de l'impact CO₂ et les politiques publiques en cours l'ont déjà pris en compte.

Le plan Borloo de juin 2009 (feuille de route du Grenelle) prévoyait de réduire de 57% ou 50% selon les sources³⁸ les émissions de GES directes dans le bâtiment d'ici 2020 au prix de plusieurs évolutions réglementaires :

- 2011 : déploiement de mesures incitatives pour rénover le parc de logements existant (PTZ, PTZ+, déductions fiscales,...) jusqu'à 2012
- 2012 : Réglementation Thermique niveau BBC (RT 2012)
- 2013 : Décret concernant l'obligation de travaux et de mise aux normes dans le tertiaire (voir le site du groupe de travail sur le décret correspondant³⁹).

- 2015 : A la suite des mesures incitatives, les obligations de travaux sur le parc résidentiel existant, sans doute à l'occasion des achats/ventes des logements
- 2020 : Réglementation Thermique niveau « bâtiment à énergie positive » (RT 2020)

Cependant l'ensemble de ces mesures ne porte pour l'instant que sur le contenu énergétique, et éventuellement l'impact CO₂ liés à l'exploitation du bâtiment (chauffage, eau chaude sanitaire, électricité, ...), mais n'aborde pas l'aspect construction et l'impact CO₂ associé.

Or dès lors qu'un bâtiment devient sobre en énergie, l'impact CO₂ induit par la construction devient très rapidement largement prépondérant sur un cycle de vie de 40 ans.

D'ici 2050, de l'ordre de 325 000 logements seront construits chaque année (moyenne des 30 dernières années), soit 13 millions de logements. Et 30 millions de logements existants aujourd'hui seront rénovés pour devenir « durables » ou démolis.

L'impact CO₂ du poste « habitat » comprendra donc selon les cas :

- Dans le neuf : le poids de sa construction et sa charge d'exploitation ;
- Dans l'ancien : sa charge d'exploitation et marginalement le poids de sa rénovation (pouvant être facilement légère en termes de CO₂).

4.2.2 Le cas et évolutions réglementaires des logements neufs - à construire d'ici 2050

4.2.2.1 Logements neufs - impact de la construction

Nous avons réalisé en 2009 un travail de recherche pour l'ADEME afin de mieux connaître l'impact CO₂ des bâtiments BBC (logements neufs) sur l'ensemble de leur cycle de vie, donc principalement la construction et l'exploitation. A l'occasion un utilitaire de calcul a été créé pour permettre aux maîtres d'ouvrages de cerner rapidement les enjeux de l'impact CO₂ d'un projet immobilier.

Il est ressorti principalement de cette étude que :

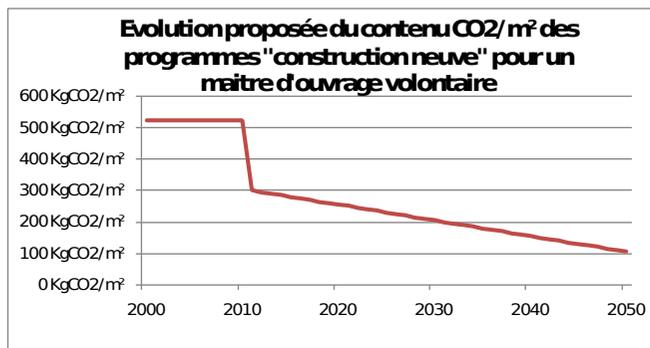
- Les maisons étudiées, disposant dans l'étude de 92 m² de surface habitable et construites en maçonnerie traditionnelle (parpaing) avec un plancher béton en rdc et 1^{er} étage et des fondations en béton ont émis environ **440 kgCO₂/m²** pour la phase construction.
- Les appartements (R+4) de 75 m² habitable chacun, construits en ossature béton (dalle et voile) ont engendré pour la construction environ **590 kgCO₂/m²**.
- Une évaluation des marges de progrès portant principalement sur la réduction des quantités de béton et le remplacement d'une part significative des maçonneries par une ossature bois permettrait d'atteindre dès à présent un impact proche de **220 kgCO₂/m²**.
- A titre d'illustration, des immeubles jusqu'à R+8 existent en Europe⁴⁰ avec une ossature bois et démontrent la place que peut occuper le matériau bois dans la construction résidentielle et tertiaire.
- Le socle des émissions résiduelles dans ces constructions à impact CO₂ léger (220 kgCO₂/m²) réside essentiellement dans les corps d'état secondaires. Il y a lieu d'envisager que les progrès sur l'ensemble de ces filières (revêtements, cloisons, plomberie, menuiserie, électricité, toiture, ...) permettront de réduire l'impact global de construction à près de **150 kgCO₂/m² d'ici 2050**.

En conséquence, nous préconisons dans un environnement recherchant les économies de CO₂, de nous caler dès aujourd'hui sur un objectif intermédiaire de **300 kgCO₂/m²**. Ce seuil devant permettre d'éviter d'imposer le bois systématique et son principal inconvénient qui est l'absence d'inertie thermique et l'inconfort d'été en résultant. Avec 300 kgCO₂/m², une dalle en béton reste envisageable.

Nous préconisons également de porter cet objectif à **110 kgCO₂/m² d'ici 2050**, soit 50% de l'optimum actuel qui n'utilise que des matériaux courants et non décarbonés de second œuvre.

Soit une moyenne de 205 kgCO₂/m² construit en moyenne d'ici 2050.

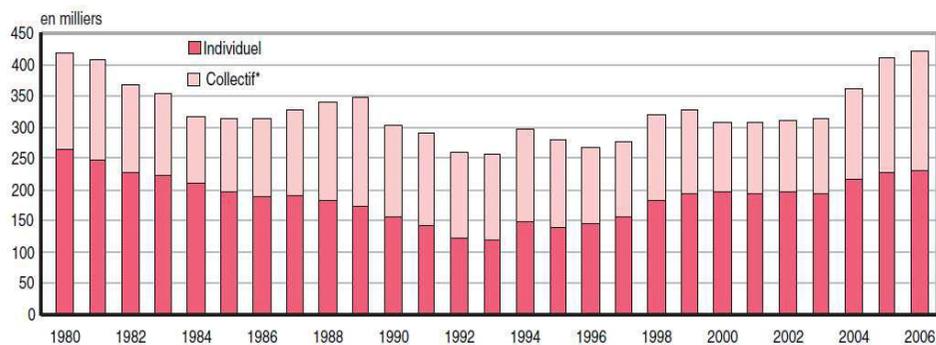
Figure 8 : Objectif à suivre en termes d'impact CO2 des programmes immobiliers de 2010 à 2050 (recommandations Objectif Carbone)



Analyse en flux annuel :

En France, le taux de renouvellement du parc immobilier est de l'ordre de 1% par an. En moyenne sur les 30 dernières années, c'est 325 000 logements qui ont été construits chaque année avec en 2006, une surface moyenne de 110 m² par logement (moyenne de 130 m² en maison individuelle et 71 m² par appartement), soit près de 36 millions de m²/an.

Figure 9: Nombre de logements construits par an depuis 1980



* Y compris les logements en résidence (cité universitaire, foyer pour personnes âgées, hôtel, motel, etc.).
Source : Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables, DAEI-SES : SITADEL.

Ainsi, à l'heure actuelle, l'impact CO₂ induit par le secteur du « bâtiment – construction neuve », à raison de 550 kgCO₂/m² ⁴¹, représentent de l'ordre de 20 MtCO₂ pour le seul secteur du logement.

Si l'on considère l'objectif proposé dès aujourd'hui de réorienter les choix constructifs selon les techniques actuelles déjà performantes du point de vue économique et technique, et proposant un impact de l'ordre de 300 kgCO₂/m², le potentiel à l'échelle nationale représente un gain rapide de l'ordre de 10 MtCO₂/an (2% des émissions nationales).

En 2050, l'impact moyen de 110 kgCO₂/m² pour la construction de logement, avec toujours 325 000 logements de 110 m² réalisés par an, représentera 4 MtCO₂.

Nous avons envisagé deux options pour décompter cet impact carbone dans l'objectif individuel global pro-facteur 6 :

- Ramener ces 4 MtCO₂ à chacun des 70 millions de français vivant en 2050 : cela représente pour l'année 2050, **60 kgCO₂/personne/an** à déduire du poste « se loger » de l'objectif individuel global pro-facteur 6 qui sera de 2tCO₂/an.
- Ramener cet impact CO₂ à seulement ceux qui profiteront d'un logement construit selon ce précepte d'économie de CO₂ pour l'exploitation (à partir de 2012 avec les bâtiments BBC) mais également pour la construction (admettons 2015). Ainsi, entre 2015 et 2050, à raison de 325 000 logements, ce sont 11 millions de logements qui seront construits. Avec la moyenne actuelle de 2,2 personnes/logement, cela représente 25 millions de personnes. En imputant les 4 MtCO₂ annuelles qu'émettra le secteur de la construction de logements aux environ de 2050 aux 25 millions de personnes qui occuperont ce type de logement ainsi conçu, cela impute **160 kgCO₂/personne/an** à déduire du poste « se loger » de l'objectif individuel global pro-facteur 6 pour ceux qui vivront dans des logements construits après 2015.

Même après une rénovation lourde, le parc existant aujourd'hui sera toujours plus émetteur en moyenne que le parc construit après 2012. Les résidents du parc immobilier d'avant 2012 auront en plus de cette surcharge carbone d'exploitation à assumer le poids de la rénovation de leur logement. Nous avons retenu la seconde solution qui permet à chacun de conserver un équilibre de budget carbone harmonieux.

Analyse en mode « amortissement » :

Que l'on construise à 450 kgCO₂/m², 300 kgCO₂/m² ou même 105 kgCO₂/m² comme on l'envisage en 2050, un logement pèsera tout de même de 10 à 30 tCO₂. Même pour 2 ou 3 personnes, c'est trop pour un objectif individuel global pro-facteur 6 qui s'élève au total à 2tCO₂/an. Il convient donc d'amortir cette charge et de la réintégrer au même titre que les charges de fonctionnement.

Dans cette approche, la durée d'amortissement est une question essentielle. Nous avons retenu 40 ans. C'est un âge courant que l'on rencontre lors des déconstructions des programmes ANRU.

La construction d'un logement de 110 m² pour 2,2 personnes (moyenne actuelle) engendrera un impact carbone :

- En 2015 : l'impact à la construction de 300 kgCO₂/m² (moyenne proposée pour le début de période, dès 2015), représente un impact total de 15 tCO₂/habitant. Répartis sur une durée de 40 ans, cela représente une charge annuelle par personne de **375 kgCO₂/an**.
- Entre 2010 et 2050 : Avec un impact à la construction suggéré à 205 kgCO₂/m², la charge annuelle est ramenée à **250 kgCO₂/an**.
- **Objectif 2050** : En prenant l'hypothèse d'un impact à la construction réduit à 110 kgCO₂/an, la charge annuelle serait de **140 kgCO₂/an**.

Conclusion Constructions neuves

Tout ceci reste relativement arbitraire. Ce qui comptera en 2050, c'est bien que le secteur de la construction ne dépasse pas 4 MtCO₂/an. L'objectif d'évolution du contenu carbone proposé au maître d'ouvrage en Figure 8 mène bien à ce résultat. Au titre de l'objectif individuel global pro-facteur 6, nous proposons de réduire de **150 kgCO₂/an/personne** le poste « se loger » pour ceux qui vivent dans un logement construit après 2015. **Et pour que cette charge ne leur soit pas insupportable, il faut réellement que les logements BBC construits à cet horizon aient un impact CO₂ d'exploitation (chauffage, éclairage...) très décarboné.**

4.2.2.2 Logements neufs - impact CO₂ d'exploitation

Pour cette évaluation, on s'appuie sur l'outil de calcul développé à cet effet. L'impact relatif à l'exploitation d'un logement sont de 3 ordres :

- Les usages courants de l'électricité (éclairage, électroménager...)
- La production d'eau chaude sanitaire
- Le chauffage, la ventilation et le cas échéant la climatisation.

L'impact CO₂ considère toute la chaîne de l'énergie : extraction, stockage, acheminement, fabrication des panneaux photovoltaïques...

On présente ci-dessous quelques choix techniques tous compatibles avec l'exigence du BBC.

1/ Cas du logement BBC 50 kWh/m²/an (« ep » pour énergie primaire), au gaz naturel :

Hypothèses : Surface 110 m² - Eau chaude « Solaire + appoint gaz » - chauffage au gaz - Ventilation simple flux hygroréglable - Usage spécifique de l'électricité (EDF) pour 4,5 MWh/an⁴².

Nota : Le choix du solaire pour l'eau chaude permet de limiter les besoins en énergie primaire de l'eau chaude à 5 kWh/m². Cela permet d'atteindre le niveau BBC (50 kWh/m²) en gardant 32 kWh/m² pour le chauffage : atteignable avec une isolation « standard » de 8 cm, et le reste pour l'éclairage et la VMC.

L'impact résultant de ces choix est le suivant :

- Appoint gaz pour l'eau chaude 130 kgCO₂/an
- Électricité EDF : 380 kgCO₂/an
- Chauffage gaz : 813 kgCO₂/an

TOTAL : **1 323 kgCO₂/an/logement**

Avec 2,2 occupants, ce logement BBC basique chauffé au gaz impute 600 kgCO₂/an/personne (en plus du forfait pour la construction du logement neuf de 150 kgCO₂/an/personne) à l'objectif individuel global pro-facteur 6 pour le poste « se loger ». C'est trop.

=> 600 kgCO₂/an/personne – hors-jeu !!

2/ Cas du logement BBC 50 kWh/m²/an avec pompe à chaleur :

Hypothèses : Surface 110 m² - Eau chaude thermodynamique - chauffage par PAC - Ventilation double flux - Usages spécifiques de l'électricité (EDF) pour 4,5 MWh/an⁴³.

Nota : Ici, l'eau chaude sanitaire thermodynamique consomme 22 kWh/m², la ventilation double flux 12 kWh/m². Ce qui reste pour le chauffage (8 kWh/m²) impose une isolation de type « maison passive – 20 cm d'isolant ».

L'impact résultant de ces choix est le suivant :

- Ballon d'eau chaude thermodynamique 80 kgCO₂/an
- Électricité EDF : 380 kgCO₂/an
- Pompe à chaleur : 25 kgCO₂/an

TOTAL : **485 kgCO₂/an/logement**

Avec 2,2 occupants, ce logement BBC « à consommation basse » revient à imputer **220 kgCO₂/an/personne** avec de l'électricité française (en plus du forfait pour la construction du logement neuf de 150 kgCO₂/an/personne) à l'objectif individuel global pro-facteur 6 pour le poste « se loger ».

Avec de l'électricité européenne, on remonte à **660 kgCO₂/an/personne**. C'est trop. **Cette solution fonctionne en France, mais n'est pas exportable.**

=> 220 kgCO₂/an/personne – C'est OK mais avec EDF ou ENR.

=> 660 kgCO₂/an/personne – hors-jeu avec de l'électricité européenne.

3/ Cas du logement BBC 50 kWh/m²/an avec pompe à chaleur et panneaux photovoltaïques pour les usages courants (conso électrique modérée) :

Hypothèses : Surface 110 m² - Eau chaude thermodynamique - chauffage par PAC - Ventilation double flux - Usage spécifique de l'électricité (30 m² de panneaux photovoltaïques) pour 3,0 MWh/an.

Nota : là encore, l'eau chaude sanitaire thermodynamique consomme 22 kWh/m², la ventilation double flux 12 kWh/m². Ce qui reste pour le chauffage (8 kWh/m²) impose une isolation de type « maison passive – 20 cm d'isolant ». La

production photovoltaïque n'alimente pas les pompes à chaleur (chauffage et eau chaude).

L'impact résultant de ces choix est le suivant :

- Ballon d'eau chaude thermodynamique 80 kgCO₂/an
- Électricité photovoltaïque : 55 kgCO₂/an
- Pompe à chaleur : 25 kgCO₂/an

TOTAL : **160 kgCO₂/an/logement**

Avec 2,2 occupants, un logement BBC « à consommation basse » et doté de 30 m² de panneaux photovoltaïques revient à **72 kgCO₂/an/personne** à imputer (en plus du forfait pour la construction du logement neuf de 150 kgCO₂/an/personne) à l'objectif individuel global pro-facteur 6 pour le poste « se loger ».

=> 72 kgCO₂/an/personne – OK !!

4/ Cas du logement BBC 50 kWh/m²/an avec chauffage au bois, eau chaude solaire et consommation d'électricité modérée :

Hypothèses : Surface 110 m² - Chauffage au bois (poêle à granulés, insert,...) - Eau chaude solaire (appoint bois en hiver) - Ventilation double flux - Usage spécifique de l'électricité (EDF) pour 3 MWh par an (valeur standard en 2010).

Nota : là encore, l'eau chaude sanitaire thermodynamique consomme 22 kWh/m², la ventilation double flux 12 kWh/m². Ce qui reste pour le chauffage (8 kWh/m²) impose une isolation de type « maison passive – 20 cm d'isolant ».

L'impact résultant de ces choix est le suivant :

- Ballon d'eau chaude thermodynamique : 20 kgCO₂/an
- Électricité EDF : 253 kgCO₂/an
- Chauffage au bois : 125 kgCO₂/an

TOTAL : **507 kgCO₂/an/logement**

Avec 2,2 occupants, un logement BBC très isolé, chauffé au bois, avec Eau Chaude Sanitaire solaire et une frugalité électrique raisonnable revient à 230 kgCO₂/an/personne à imputer (en plus du forfait pour la construction du

logement neuf de 150 kgCO₂/an/personne) à l'objectif individuel global pro-facteur 6 pour le poste « se loger ».

=> **230 kgCO₂/an/personne – C'est OK avec EDF ou ENR.**

=> **301 kgCO₂/an/personne avec de l'électricité européenne⁴⁴**

Conclusion « Je me loge » dans un logement neuf

On préconise d'imputer forfaitairement **150 kgCO₂/an/personne** occupant un logement construit entre 2015 et 2050.

Pour ce qui concerne l'impact lié à l'exploitation du logement, on suggère de ne pas dépasser **200 kgCO₂/an/personne**. Cela exclu le gaz naturel⁴⁵ mais laisse un large panel de solutions courantes et dont la maîtrise arrive à maturité dans des conditions économiques déjà raisonnables actuellement.

=> Soit **350 kgCO₂/an/personne** pour le poste « se loger » pour ceux qui vivront dans un logement neuf (construit après 2012).

4.2.3 Le cas du parc existant à rénover d'ici 2050

4.2.3.1 Parc existant - impact de la rénovation

La rénovation peut consister à :

- **Passer au bois énergie.** Il s'agit alors d'investir sur une chaudière à bois : 1 000 kgCO₂ pour fabriquer la chaudière, amortissable sur 20 ans, à raison de 50 kgCO₂/an/logements, soit plutôt **22 kgCO₂/an/personne** (toujours avec 2,2 occupants en moyenne) : l'impact CO₂ d'une belle côte de bœuf. Cela peut passer en frais d'équipement courant.
- **S'équiper d'une pompe à chaleur, de panneaux solaires thermiques ou photovoltaïques :** autant d'équipements pour lesquels le contenu carbone restera faible, du même ordre que l'exemple ci-avant : **~22 kgCO₂/an/personne.**

- **Isoler sa maison par l'extérieur :** voilà une opération qui peut s'avérer onéreuse. Un des matériaux les plus simple à mettre en œuvre et probablement un des plus pérennes dans le temps, en dépit de son impact carbone chargé, est le béton cellulaire allégé (multipor – SIPOREX). Pour isoler une maison individuelle de 150 m² avec 20 cm d'épaisseur, il faut près de 200 m² d'isolant, soit 40m³ de matériaux. Ce matériau pèse 115 kg/m³. Il faut donc près de 4,6 tonnes de béton cellulaire allégé. Il est constitué de 35% de chaux et ciment (impact de 1 tCO₂/tonne), le reste étant du sable. La rénovation thermique du bâti représentera de l'ordre de 1,6 tCO₂ pour le béton cellulaire et sans doute près de 1,5 tCO₂ à rajouter pour les colles et enduits. Amortissable sur 40 ans, cela représentera de l'ordre de 77 kgCO₂/an/logement soit près de 35 kgCO₂/an/personne.
- **Même rajouter à un poêle à bois,** cela reste de l'ordre du possible dans le budget global CO₂ d'équipement.

4.2.3.2 Parc existant - l'impact de l'exploitation

Le label le plus performant existant pour qualifier les qualités thermiques des programmes de rénovation dans l'existant est le « Bâtiment basse consommation énergétique rénovation BBC ». Il fixe un objectif de consommation maximum à 80 kWh/m².

Avec ce niveau d'exigence (80 kWh/m² contre 50 kWh/m² dans le neuf BBC), les situations étudiées ci-avant donnent les résultats suivants :

1/ Cas du logement BBC rénovation 80 kWh/m²/an au gaz naturel :

Hypothèses : surface 90 m²- Eau chaude « Solaire + appoint gaz » - chauffage au gaz - Ventilation simple flux hygroréglable - Usage spécifique de l'électricité (EDF) pour 4,5 MWh/an⁴⁶.

Nota : le choix du solaire pour l'eau chaude permet de limiter les besoins en énergie primaire de l'eau chaude à 5 kWh/m². Cela permet d'atteindre le niveau BBC (80 kWh/m²) en gardant 62 kWh/m² pour le chauffage : cela signifie qu'une isolation « standard » de 8 cm suffit.

L'impact résultant de ces choix est le suivant :

- Appoint gaz pour l'eau chaude 130 kgCO₂/an
- Electricité EDF : 380 kgCO₂/an
- Chauffage gaz : 1 289 kgCO₂/an

TOTAL : **1 799 kgCO₂/an/logement**

Avec 2,2 occupants, un logement BBC basique chauffé au gaz impute **817 kgCO₂/an/personne** à l'objectif individuel global pro-facteur 6 pour le poste « se loger », sans compter l'impact CO₂ de la rénovation. C'est trop.

=> 817 kgCO₂/an/personne – hors-jeu !!

2/ Cas du logement BBC rénovation 80 kWhep/m²/an avec pompe à chaleur :

Hypothèses : surface 90 m² - Eau chaude thermodynamique - chauffage par PAC - Ventilation double flux - Usages spécifiques de l'électricité (EDF) pour 4,5 MWh/an⁴⁷.

Nota : l'eau chaude sanitaire thermodynamique consomme 22 kWhep/m², la ventilation double flux 12 kWhep/m². Sans eau chaude solaire, le niveau BBC est atteint en réduisant les besoins de chauffage à moins de 38 kWhep/m² pour le chauffage : cela signifie qu'une isolation renforcée (de l'ordre de 14-15 cm d'épaisseur) devient nécessaire.

L'impact résultant de ces choix est le suivant :

- Ballon d'eau chaude thermodynamique 80 kgCO₂/an
- Électricité EDF : 380 kgCO₂/an
- Pompe à chaleur : 96 kgCO₂/an

TOTAL : **554 kgCO₂/an/logement**

Avec 2,2 occupants, un logement BBC « à consommation basse » revient à **250 kgCO₂/an/personne** avec de l'électricité française, à imputer à l'objectif individuel global pro-facteur 6 pour le poste « se loger », sans compter l'impact de la rénovation.

Avec de l'électricité européenne, on remonte à **872 kgCO₂/an/personne**, c'est trop. **Cette solution fonctionne en France, mais n'est pas exportable.**

=> 250 kgCO₂/an/personne – C'est OK mais avec EDF ou ENR

=> 872 kgCO₂/an/personne – hors-jeu avec de l'élec. européenne

3/ Cas du logement BBC rénovation 80 kWhep/m²/an avec pompe à chaleur et panneaux photovoltaïques pour les usages courants (conso. électrique modérée) :

Hypothèses : surface 90 m² - Eau chaude thermodynamique - chauffage par PAC - Ventilation double flux - Usage spécifique de l'électricité (30 m² de panneaux photovoltaïques) pour 3,0 MWh/an.

Nota : La production photovoltaïque n'alimente pas les pompes à chaleur (chauffage et eau chaude) qui fonctionnent avec l'électricité de réseau France.

L'impact résultant de ces choix est le suivant :

- Ballon d'eau chaude thermodynamique 79 kgCO₂/an
- Électricité photovoltaïque 55 kgCO₂/an
- Pompe à chaleur : 96 kgCO₂/an

TOTAL : **230 kgCO₂/an/logement**

Avec 2,2 occupants, un logement BBC « à consommation basse » et doté de 30 m² de panneaux photovoltaïques revient à **105 kgCO₂/an/personne** à imputer à l'objectif individuel global pro-facteur 6 pour le poste « se loger », sans compter l'impact CO₂ de la rénovation.

=> 105 kgCO₂/an/occupant – OK !!

4/ Cas du logement BBC rénovation 80 kWhep/m² avec chauffage au bois, eau chaude solaire et consommation d'électricité modérée :

Hypothèses : surface 90 m² - Chauffage au bois (poêle à granulés, insert, ...) - Eau chaude solaire (appoint bois en hiver) - Ventilation double flux - Usage spécifique de l'électricité (EDF) pour 3 MWh/an (valeur modérée en 2010).

L'impact résultant de ces choix est le suivant :

- Ballon d'eau chaude thermodynamique 20 kgCO₂/an
- Electricité EDF : 253 kgCO₂/an
- Chauffage au bois : 116 kgCO₂/an

TOTAL : **416 kgCO₂/an/logement**

Avec 2,2 occupants, un logement BBC très isolé, chauffé au bois, avec eau chaude sanitaire solaire et une frugalité électrique raisonnable revient à **189 kgCO₂/personne/an** à imputer à l'objectif individuel global pro-facteur 6 pour le poste « se loger », sans compter l'impact CO₂ de la rénovation.

=> **189 kgCO₂/an/occupant – C'est OK avec EDF.**

=> **475 kgCO₂/an/occupant avec de l'électricité européenne⁴⁸.**

Conclusion « Je me loge » dans un logement ancien

Dans le cas de l'existant, on laisse les travaux de rénovation à la charge du poste « Tout le reste ». La difficulté d'atteindre la qualité thermique de l'habitat neuf, du fait des contraintes de l'existant engendre une réelle surconsommation de CO₂ sur un large panel de solutions techniques.

Les 150 kg/CO₂/an/personne non imputés sur la construction (par rapport au cas des logements neufs) sont investis en frais de fonctionnement. **On suggère de ne pas dépasser 350 kgCO₂/an/personne.** Cela permet d'atteindre un large panel de solutions courantes et dont la maîtrise arrive à maturité dans des conditions économiques raisonnables. Il y a lieu de noter que tout le parc existant n'est pas égal devant la contrainte CO₂.

4.3 Pourquoi 540 kgCO₂e/an pour se nourrir ?

Pour rester ici sur le concept du budget individuel en impact carbone on comptabilise ce que notre consommation engendre et pas ce que notre production nationale engendre. Si notre production exportée et nos importations de nourriture respectent les principes décrits ci-après, l'équilibre climatique global ne sera pas affecté par l'activité agricole induite par ces échanges.

Une étude que nous avons réalisée en 2011 portant sur un service de restauration collective nous a permis d'estimer l'impact CO₂ moyen actuel pour se nourrir à **1 879 kgCO₂e/an/pers.**

Le bilan carbone détaillé de ce service de restauration rapporte que 80% des ces émissions reposent sur la protéine animale, principalement par le biais des ruminants qui engendrent beaucoup de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O) dans leur cycle de vie. Ainsi la marge d'amélioration principale de l'impact climatique porte sur une révision raisonnable de la composition de notre régime alimentaire, culturellement tourné sur la protéine animale.

L'ensemble des évolutions proposées dans le chapitre qui suit permet d'envisager une baisse globale de 40% des émissions de GES de la filière « agricole » dont seule une fraction pourrait être dédiée à la production alimentaire dans le futur. L'agriculture du futur pourra également servir le domaine de l'énergie et des matériaux biosourcés.

Cela passe par un recalage du cheptel bovin sur les besoins nutritionnels de la population en calcium via les produits laitiers. Il propose une réduction analogue du cheptel ovin (moutons, qui sont également des ruminants, producteur de méthane) :

- Ce scénario, qui répond aux besoins en calcium de la population (selon les critères de l'OMS), invite à consommer pour la filière bovine, une moyenne par personne et par an, de 200 litres de lait, 2 kg de viande de bœuf et 2 kg de viande de veau.

- L'impact climatique d'une telle réduction du cheptel bovin sur les émissions nationales serait de passer de 39,2 MtCO₂e actuels à 12,2 MtCO₂e (réduction des émissions liées à la fermentation entérique et aux déjections). C'est la plus grande marge de progrès sur le poste se nourrir de l'objectif individuel pro-facteur 6.
- Cette réduction de consommation de viande bovine ramènerait notre consommation globale de viande de 252 g/jour/hab à 164 g/jour/hab (eq. carcasse). Cela reste au-dessus de la moyenne mondiale (120 g/jour/humain⁴⁹) et des besoins nutritionnels de l'humain selon l'avis de nombreux nutritionnistes.

Les autres marges d'amélioration concernent les postes suivants :

- Une généralisation des systèmes de traitement des déjections animales peu émetteurs de GES (méthaniseur en priorité, voie sèche en seconde position) ;
- Le maintien d'une production intensive, réorientée notamment vers des agro-carburants et des matériaux biosourcés, toujours à l'aide d'engrais azoté mais profitant d'une légère amélioration du fait d'une meilleure maîtrise des processus chimiques mis en jeu par le monde agricole ;
- La diminution des impacts CO₂ connexes, relatifs à la fabrication des engrais azotés, à l'utilisation de carburant des engins agricoles, aux emballages et procédés de l'industrie agroalimentaire, au fret (le fret aérien étant banni), au chauffage des serres, et à l'exploitation de machines agricoles.

En modifiant ainsi d'ici 2050 le système agricole au service d'un régime alimentaire national moins carné (tout en assurant les besoins en calcium et une consommation de viande de 160 g/jour/personne), l'impact individuel pour le poste se nourrir passe à **642 kgCO₂e/an/pers** (dont 200 kgCO₂/an/pers, 175 kgCO₂e_(CH₄) et 260 kgCO₂e_(N₂O)).

L'ensemble de ces dispositions proposées autorisent un panier annuel de courses par personne décrit dans le *Tableau 18 : Panier de courses annuel par personne pour un budget individuel "Se nourrir" pro-facteur 6 (impact exprimé en kgCO₂e)*, page 44.

4.3.1 Difficultés à gérer : périmètre et incertitude sur la filière alimentaire

4.3.1.1 Effet de bords liés aux échanges commerciaux : import/export

Il y a un écart important entre d'une part les émissions de l'empreinte carbone de l'alimentation des français, et les émissions engendrées par la production agricole française : les échanges internationaux et en particulier les exportations de viande vivantes, les importations de nourriture pour les bovins et les importations d'engrais pour les cultures faussent significativement la donne. Cela affecte tout particulièrement les bilans CH₄ et N₂O nationaux.

Pour corriger ce biais nous distinguerons deux analyses, d'abord celle correspondant au budget individuel : on comptabilise ce que notre consommation engendre puis ensuite et distinctement, ce que notre production nationale engendre. On proposera alors un scénario pour ces 2 approches. Le modèle agricole que l'on décrit ci-après représente celui d'un pays en autosuffisance alimentaire.

4.3.1.2 Incertitude sur les objectifs à atteindre sur le protoxyde d'azote et le méthane

En 2020, on sait qu'il faut faire « facteur 6 » en France pour le CO₂ car dans la mesure où chaque état respecte ses propres objectifs, cela permet d'équilibrer au niveau mondial les puits de CO₂ actuels avec les émissions anthropiques de CO₂.

Pour le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O), pour l'instant, le facteur 6 est une simple déclinaison du principe du « Facteur 6 » concernant le CO₂, et qui n'apparaît pas contradictoire avec les modèles informatiques de simulation d'évolution du climat.

Cependant des évolutions sont possibles voire souhaitables, en particulier sur le méthane. En effet, son Potentiel de Réchauffement Global (PRG) est de 23 fois celui du CO₂ sur une durée de 100 ans, mais il est de plus de 70 fois celui du CO₂ si on compte son effet cumulé sur 25 ans. Cela signifie qu'un renforcement de

l'objectif « Méthane » pour 2050 permet d'accroître très significativement le bénéfice « stabilisation du climat » à court terme.

Également, le coefficient d'équivalence pris pour le méthane (23 en 2001) ne cesse d'être réévalué à la hausse (son évolution et son action évolue notamment avec la quantité de CO₂ présente dans l'atmosphère et le PRG du méthane a progressé de 21 en 1990, 25 en 2007, 30 en 2013, et probablement 35 dans le prochain rapport du GIEC AR6 de 2022⁵⁰), ceci rend d'autant plus pressante une action renforcée de réduction sur les émissions de CH₄. Il n'est pas exclu que cette hypothèse puisse devenir une solution de secours (et d'urgence) pour requalifier les objectifs Climat en Europe. Si un « facteur 8 » pour le méthane devait être pris en référence en Europe, les évolutions décrites ci-dessous, en particulier concernant le cheptel bovin seraient autrement plus drastiques.

4.3.1.3 La solution sera plus culturelle que technique

Les émissions de la filière agro-alimentation (agriculture+agroalimentaire+fret associé) française sont principalement le fait de la filière viande (voir *Tableau 2 : Principales émissions de l'agriculture en France en 2017*, page 33) : 29% des émissions globales de GES sont le fait des rots et pets des ruminants, 5% proviennent du choix de traitement des déjections d'élevage, 28% proviennent des émanations de N₂O suite à l'utilisation d'engrais azoté et 10% de la fabrication de ces engrais lorsque de l'ordre de 70% des cultures sont destinées à nourrir la filière viande : les émissions associées (N₂O et CO₂) sont donc également imputables à la viande.

Lorsque on adopte le point de vue de la consommation, on retrouve également dans le bilan carbone détaillé des services de restauration, 50% des émissions imputées à la viande et 30% d'émissions supplémentaires imputées aux produits laitiers, soit 80% des émissions de notre alimentation qui reposent sur la protéine animale. Si ce n'est pas un objectif, car il poserait des problèmes sanitaires et sociaux, il y a lieu de noter que le contenu carbone des végétariens est d'ores et déjà réduit de près de 75% par rapport à la moyenne des non végétariens, même pour ceux qui mangent du quinoa importé par bateau d'Amérique du sud.

Enfin, la solution pour réduire les émissions de méthane (CH₄) induites par la fermentation entérique des ruminants et les émissions de protoxyde d'azote (N₂O)

dans les pratiques agricoles font l'objet de nombreux programmes de recherche depuis plus de 30 ans, mais ne laissent pas entrevoir de rupture à court ou moyen terme (les principales pistes sont : 1/ augmenter la productivité des vaches : plus de lait pour moins de méthane, 2/ faire évoluer l'activité microbienne dans le rumen – antibiotique, ration alimentaire modifiée, rajout d'huile de lin, implantation de bactéries non méthanogènes...).

C'est pourquoi, les marges de progrès sur les process étant relativement faibles, nous envisageons que les évolutions porteront surtout sur les choix alimentaires de la population dans le respect des équilibres nutritionnels et doivent amener le monde agricole à profondément revoir ses orientations cardinales concernant l'élevage bovin en particulier. Ceux faisant, nous gagnerons beaucoup sur les émissions de CH₄ et de N₂O, puis indirectement sur le CO₂. De manière secondaire sur le bilan global, des efforts sur les approvisionnements locaux, les emballages et l'industrie de transformation permettront des progrès. Ceux-là concernent plus particulièrement le poste CO₂. L'atteinte des objectifs « Facteurs 6 » pour le poste nourriture est un objectif largement plus social que technique.

4.3.2 Consommation : impact climatique du régime alimentaire des Français en 2020

Une étude que nous avons réalisée en 2011 portant sur un service de restauration collective (> 10 millions repas par an) nous a donné l'occasion d'éplucher dans le détail le contenu GES associé à la nourriture. Les principaux acquis se synthétisent comme suit :

- Pour préparer un repas de cantine scolaire (école primaire), validé par des diététiciens, il faut 600 g de nourriture.
- Pour ce repas, il faut compter 50 g d'emballage (y compris suremballage) dont 20% de conserve en acier, 15% de matière plastique et 65% de carton. L'ensemble des emballages représente 90 gCO₂/repas.
- Il faut également compter du transport de produit fini : 45% du tonnage viendra de France (moins de 1 000 km), 45% viendra d'Europe ou d'Afrique du nord (parcourant 2-3 000 km), et 10% viendra de très loin (>10 000 km, poisson, riz, bananes, essentiellement en bateau). Pour autant, ce fret ne

représentera que 60 gCO₂/repas (sans fret aérien, autrement, on décuple – X 10 – ce chiffre).

- La chaîne du froid mobilise de l'ordre de 30 gCO₂e/repas. Il s'agit là de fluides frigorigènes et non de CO₂.
- La transformation amont, dans les usines agroalimentaires (tri des fruits et légumes, production de congelés, conserverie, fabrication de pâtes, pain, confiture, fromage, yaourts, préparation et conditionnement du lait...) engendre 50 gCO₂/repas.
- Enfin, les étapes agricoles sont prépondérantes. Il s'agit d'un mix entre CO₂ (33%), N₂O (24%) et CH₄ (43%). Le tout représente 1 740 gCO₂e/repas. La viande pèse 50% de cet ensemble et les produits laitiers 30%.
- Au final, selon cette étude, un repas en école primaire pèse :
 - CO₂ 766 gCO₂/repas (dont 566 g d'origine agricole, le reste venant de l'industrie agroalimentaire et des cuisines)
 - N₂O 425 gCO₂e/repas (100% d'origine agricole)
 - CH₄ 749 gCO₂e/repas (100% d'origine agricole)
 - Gaz-F 30 gCO₂e/repas (100% lié au process aval agro-industriel)

L'ensemble pèse 1 970 gCO₂e/repas, dont 1 740 gCO₂e d'origine agricole. En augmentant les quantités de 30% (ratio pour avoir le poids d'un repas moyen « adulte/enfant » selon les besoins en calories), on retrouve l'impact CO₂ du repas standard (émissions agricoles uniquement) proposée par la méthode Bilan Carbone V6, à savoir 2 273 gCO₂e/repas.

En comptant 2 repas par jour, 365 jours par an (le petit déjeuner non compté est compensé par le dîner qui contient généralement moins de protéine animale que le déjeuner), le poids annuel par personne pour les différents gaz à effet de serre induit par notre la nourriture devient alors :

■ CO ₂	731 kgCO ₂ /an	
■ N ₂ O	405 kgCO ₂ e/an	107% ⁵¹ de l'objectif 2050
■ CH ₄	714 kgCO ₂ e/an	264% ⁵² de l'objectif 2050
■ Gaz-F	29 kgCO ₂ e/an	
Total :	1 879 kgCO₂e/an	=> Situation actuelle : Hors-jeu dans l'optique bas-carbone pour 2050

4.3.3 Production : impact climatique de la production nationale en 2017

Le tableau suivant récapitule les principaux ordres de grandeurs des émissions induites par la production de la nourriture consommée et/ou produite en France :

Tableau 2: Principales émissions de l'agriculture en France en 2017

Famille d'émission	Volume (ordre de grandeur 2017)		source
Fermentation entérique (CH4 -91% Bovine)	34,7 MTeCO2 (CH4)	29%	Rapport CCNUCC France 2019
Emanation de N2O par les sols agricoles (engrais azotés, fumier, paturage, décomposition des résidus...)	33,2 MTeCO2 (N2O)	28%	
Fabrication des engrais azotés (CO2, >80% à l'étranger) :	11,7 MTCO2	10%	Base Carbone - UNIFA Objectif Carbone
Carburant engins agricole en France (pêche exclue)	7,4 MTCO2	6%	Rapport CCNUCC France 2019
industrie agroalimentaire aval	7,4 MTCO2	6%	CITEPA Format SECTEN
Fret (55 milliards de ton.km en 2018 agricole et alimentaire - comptes des transports 2017)	5,0 MTCO2	4%	Comptes des transports / Rapport CCNUCC
Emballage	4,7 MTCO2	4%	BC V6 - Objectif Carbone
Déjections animale - émanation de méthane (bovins 57% - Porcs 35%)	3,6 MTeCO2 (CH4)	3%	Rapport CCNUCC France 2019
chaîne du froid - Gaz-F agro-alimentaire	2,7 MTeCO2 (Gaz F)	2%	CITEPA Format SECTEN
Déjections animale - émanation de N2O	2,5 MTeCO2 (N2O)	2%	Rapport CCNUCC France 2019
Machinisme agricole France - amortissement annuel	1,9 MTCO2	2%	BC V6 - Objectif Carbone
Chauffage des serres et installations agricoles	1,3 MTCO2	1%	Rapport CCNUCC France 2019
Application d'urée - dégazage de CO2 (CO2)	1,3 MTCO2	1%	
Chaulage (Décomposition du calcaire - CO2)	0,6 MTCO2	1%	
	118 MTeqCO2	100%	

Dans ce bilan, on rassemble l'ensemble des émissions induite par la production nationale, et son traitement aval par l'industrie agroalimentaire et son circuit de distribution. Les principaux déterminants de ce bilan sont :

- Un cheptel de l'ordre de 20 millions de bovin qui permet de produire annuellement 1,4 Mt équivalant carcasse – ce qui correspond à 24 kg/hab/an. Notre consommation moyenne par habitant est de 27 kg/an. La balance commerciale est quasi équilibrée, légèrement importatrice (200 000 t/an).
- La balance commerciale de la filière porcine est équilibrée avec une production et une consommation de 2,2 Mt équivalent carcasse par an.

- La production de volaille est excédentaire de 25%, avec 2 Mt produites pour une consommation interne de 1,5 Mt. En premier ordre, ces excédents d'émission compenseraient celui des vaches importées !
- La France importe en 2018, 2,8 Mt de tourteaux de soja pour compléter le régime protéiné de nos vaches laitières. Essentiellement en provenance d'Amérique du sud, le poids de la déforestation sur ces cultures reste mal cadré mais pour autant significatif (1 à 5 MtCO₂e/an).
- La production céréalière en 2018 s'élève à 70 millions de tonnes. 35 Mt sont exportées, 7 Mt servent l'alimentation humaine (meunerie, semoule...) et 28 Mt nourrissent la filière viande.

=> En 2019, une étude de l'ADEME estime que le bilan des importations et des exportations de notre agriculture conduit à exporter (donc à réduire de) 10 MtCO₂e notre bilan carbone national.

Avec un bilan ramené à environ 110 MCO₂e/an, pour une population de 67 millions d'habitant, notre budget alimentaire se retrouve bien autour de 1,8 tCO₂e/an/personne.

4.3.4 Scénario bas-carbone pour la production nationale

4.3.4.1 Scénario compatible SNBC concernant la production de viande bovine

Les émissions liées à la production bovine engendrent de l'ordre des deux tiers des émissions agricoles françaises (fermentation entérique, émanation des déjections, production céréalière associée).

La Stratégie National Bas Carbone déclinée pour les CH₄ et N₂O devrait impacter (à terme) en profondeur le paysage agricole français. Le méthane émis en France provient à 75% de l'élevage et le N₂O provient à 81% de l'agriculture.

Le cas du méthane entérique : passer de 35 MtCO_{2e(CH4)}⁵³ à 10 MtCO_{2e(CH4)}.

Un total de 35 MtCO_{2e(CH4)} sont émises en 2017 par fermentation entérique dont 33% proviennent de près de 3,6 millions de vaches laitières qui produisent chacune en moyenne 6 500 l/an, 58% proviennent des 15,3 millions d'autres bovins qui produiront essentiellement de la viande. Les 9% restant sont essentiellement le fait des moutons.

Le cheptel laitier produit annuellement près de 24 Mm³ de lait, soit 370 l/an/pers.

Les perspectives 2050 de la Stratégie Nationale Bas Carbone impliquent (sans le dire explicitement dans la version en cours en 2020) les hypothèses qui suivent.

Si l'on se base sur les besoins en calcium pour calibrer les besoins en produits laitiers de la France, 500 mg (selon l'OMS⁵⁴) sont nécessaires chaque jour pour les populations à taux élevé d'ostéoporose. Cela correspond à 420 ml de lait par jour et par adulte, soit 150 l/an/pers. Lorsqu'on va dans le détail de la pyramide des âges française, et compte tenu des besoins différenciés selon les périodes de la vie, les besoins moyens en calcium sont augmentés de 10%. Et dans la mesure où les personnes sédentaires qui consomment beaucoup de viande (soit une part significative de la population française) beaucoup ont un risque accru et que cela concerne une part importante de notre population, nous arrondissons l'objectif de consommation à 200 l/an/personne. Une vache produisant 6 500 l/an subvient ainsi au besoin en calcium de 32 personnes. Pour la population française actuelle (65 millions d'habitants) la production laitière correspondante représente 13 Mm³ de lait, soit un cheptel de laitière active de 2 millions de vache à 6 500 litres/an.

Une vache laitière met deux ans à être sexuellement mature, puis effectue une première gestation (vache en année 3)⁵⁵. Elle devient productive pour sa 4^{ième} année, et produit ensuite du lait (et 1 veau par an) pendant 4 ans avant d'être vendue en boucherie. Elle produira en tout 26 000 litres de lait, 5 veaux dont 4 seront abattus à 6 mois apportant chacun 63 kg de viande nette commercialisable (VNC) et la vache fournira enfin 250 kg de VNC en fin de vie. Selon ce parcours, le cheptel capable de subvenir aux besoins de calcium de la population est composé de :

- 2 millions de vaches laitières en phase production (année 4 à 7) – soit 515 000 vaches de chaque génération.
- 515 000 génisses (veau femelle – année 1) destinées à remplacer les laitières

- 515 000 génisses (année 2) destinées à remplacer les laitières
- 515 000 génisses en gestation (année 3) destinées à remplacer les laitières
- 2 060 000 veaux (la production des laitières) qui seront abattus à 6 mois pour la viande. (donc un cheptel moyen de 1 030 000 veaux sur une année)

Les émissions de CH₄ entérique correspondantes à ce cheptel sont reproduites dans le tableau ci-après (les paramètres de calcul sont ceux utilisés par la France dans son inventaire national remis à la CCNUCC en 2012).

Tableau 3: Bilan des émissions de CH₄ et production lait et viande associés pour un cheptel établi sur la base des besoins de calcium de la population française – option de durée de vie des laitières = 7 ans

abatage à 7 ans	cheptel	litres CH ₄ /jour	kg CH ₄ /an/animal	TeCO ₂ /an
veau (< 6 mois)	1 545 000	50	13	463 224
génisse	515 000	220	57	679 395
vache	2 575 000	550	143	8 492 442
production annuelle lait : 12,98 Mm ³ de lait				9 635 061
production annuelle viande de vache : 128 750 Tonne de viande				
production annuelle viande de veau : 129 780 Tonne de viande				
4,0 kg de viande bovine/an/personne				

Ce cheptel exclusivement laitier engendrera 9,6 MtCO_{2e}/an (pour le seul CH₄ entérique) contre 34,7 MtCO_{2e} pour le cheptel bovin actuel.

Si on décide de laisser aux vaches le temps de vivre, il existe des modèles de production moins intensifs qui permettent de conserver les rendements laitiers analogues. Avec un âge à l'abatage de 12 ans, on obtient un bilan à moindre impact carbone, mais produisant également moins de viande :

Tableau 4: Bilan des émissions de CH₄ et production lait et viande associés pour un cheptel établi sur la base des besoins de calcium de la population française – option de durée de vie des laitières = 12 ans

abattage à 12 ans	cheptel	litres CH ₄ /jour	kg CH ₄ /an/animal	TeCO ₂ /an
veau (< 6 mois)	1 258 889	50	13	377 442
génisse	228 889	220	57	301 953
vache	2 288 889	550	143	7 548 837
production annuelle lait : 12,98 Mm ³ de lait				8 228 233
production annuelle viande de vache : 57 222 Tonne de viande				
production annuelle viande de veau : 129 780 Tonne de viande				
2,9 kg de viande bovine/an/personne				

Conclusion - production bovine

Se caler sur les besoins nutritionnels essentiels – les apports en calcium par le lait : cela nécessite d'avoir un cheptel de 2 millions de vaches laitières en production et le maintien éventuel d'un cheptel « culturel » de race à viande sans vocation de production à destination de l'alimentation humaine.

Le cheptel bovin global passe alors de 20 millions de têtes à 2 millions de laitières actives et 1,75 million de têtes associés (génisses de remplacement, veau de maintien de lactation).

Les émissions de CH₄ entériques de l'ensemble des ruminants, y compris les ovins qui subissent une évolution du même ordre, passent de 35 à **10 MtCO_{2e}(CH₄)**.

Le cas du méthane des déjections : passer de **3,6 MtCO_{2e}(CH₄)**⁵⁶ à **0,5 MtCO_{2e}(CH₄)**

En 2010, 10% du cheptel laitier (400 000 bêtes pour un total de 4 millions de têtes) et 37% du cheptel non laitier (6 millions de bêtes pour un total de 16 millions de têtes) dispose d'un système de traitement des déjections par voie liquide. Ce principe engendre 15 fois plus de méthane (absence d'oxygène = méthanisation de 22% du potentiel) que la voie sèche, le libre parcours (pour les deux principes, méthanisation à hauteur de 1,5% du potentiel) ou le digesteur anaérobie qui permet de récupérer 100% du méthane pour le neutraliser (par combustion en chaudière, en véhicule biogaz, ou en groupe électrogène).

Les émissions de méthane du traitement des déjections bovines engendrent aujourd'hui (2017) 2,1 MtCO_{2e}/an (sur un total de 3,6 MtCO_{2e} en comptant les élevages de porcs et secondairement les élevages de volaille).

Dans notre hypothèse de perspectives 2050 correspondant aux attendus de la Stratégie National Bas Carbone, le cheptel exclusivement laitier disposera d'un système de traitement des déjections par voie sèche (le tas de fumier) ou par méthanisation pour l'ensemble de la période de stabulation. Ce cheptel de 2,6 millions de vaches adultes et de 1,8 millions de veaux et génisses engendrera de l'ordre de 336 000 tCO_{2e}/an, soit 10 fois moins que dans la situation actuelle.

La généralisation des dispositifs de méthanisation nécessite des investissements conséquents. Une piste à suivre pour financer ce type d'équipement peut être de valoriser financièrement les tonnes de CO₂ évitées dans le cadre de projet domestique CO₂.

Cas pratique : Sur une exploitation de 200 têtes bovines laitières, chaque bête engendre 5,1 kg de déjections par jour. Le potentiel de production de méthane associé est de 1,24 Nm³/jour. La voie liquide qui dégaze 22%⁵⁷ de ce potentiel (contre 1,5% pour les voies sèches) engendre chaque année 20 000 Nm³, soit 15 tCH₄, soit 300 tCO_{2e}. En valorisant chaque tCO_{2e} évitée pendant 10 ans à 100 €/tCO_{2e}, les travaux nécessaires pour changer de système profiteraient d'un financement de l'ordre de 300 000 €. En y rajoutant la revente d'une production de l'ordre de 130 MWh d'électricité par an (rendement de 30% pour la conversion du méthane en électricité), valant 13 000 € au prix de marché 2012 (soit 130 000 € sur 10 ans), on obtient des ordres de grandeur financiers très compatibles avec la généralisation de cette filière. Cela aura lieu dès que la valorisation du CO₂ « diffus » deviendra un objet de marché. Pour l'heure, ces dispositifs profitent d'un tarif de rachat de l'électricité avantageux sans valorisation directe du CO₂ évité. Les équipements en France restent rares.

Conclusion - Méthane des déjections

Selon le schéma proposé ci-avant, la réduction du cheptel bovin et l'évolution du mode de traitement des déjections bovines et porcines permet de passer ce poste d'émission de méthane de 3,6 MCO_{2e} à **moins de 1 MtCO_{2e}(CH₄)**.

Le cas du N₂O des déjections : passer de 2,5 MtCO_{2e(N₂O)}⁵⁸ à **1 MtCO_{2e(N₂O)}**

Contrairement au méthane, la voie liquide neutralise l'émission de N₂O dans l'atmosphère. La digestion anaérobie également (procédé étanche pour la méthanisation), mais pas le tas de fumier traditionnel.

Conclusion - Protoxyde d'azote des déjections

Les émissions de N₂O liée au stockage des déjections des bovins avant épandage ou traitement engendre aujourd'hui de l'ordre de 5 000 tonnes de N₂O (soit 1,5 MtCO_{2e} sur un total de 2,5 MtCO_{2e} pour l'ensemble du N₂O des déjections animales). Le traitement des déjections bovines et porcines par méthaniseur en laissant la possibilité d'un maintien en pâturage naturel pour le cheptel bovin et porcin permet de réduire de 50% ces émissions les passant de 2,5 à 1 MtCO_{2e(N₂O)}

Le cas des émissions de N₂O et CO₂ induites par la production fourragère associée à l'élevage bovin : **baisse de près de 75% en tonnage.**

Si on résume l'alimentation bovine à 16 kg (matière sèche) de fourrage ou équivalent par jour pour les bovins de plus de 1 an, et 4 kg pour les veaux de moins de 1 an, on obtient les besoins de production suivants pour les deux situations proposées.

Tableau 5: Évaluation des besoins en fourrage pour le cheptel actuel⁵⁹

Situation actuelle	cheptel	Masse de fourrage/jour (kg de matière sèche)	Masse annuelle de fourrage (tonne de MS)
veau	5 600 000	4 kg/jour	8 176 000
Bovins > 1 an	14 000 000	16 kg/jour	81 760 000
			89 936 000

En situation actuelle, la production de 82 Mt de matière sèche correspond environ à 15 Mha de SAU (à raison de 5,5 tonnes de MS/ha – 55 qtx/ha). Si tout était produit en France, cela représenterait 50% de la SAU française actuelle (29 Mha). En France, près de 14 Mha sont dédiés à la production fourragère mais avec une importante part de surface toujours en herbe ayant des rendements significativement inférieurs⁶⁰.

Tableau 6: Évaluation des besoins en fourrage pour le cheptel selon le scénario « calcium autosuffisant »

Scénario "Calcium" abattage à 7 ans	cheptel	Masse de fourrage/jour (kg de matière sèche)	Masse annuelle de fourrage (tonne de MS)
veau	1 545 000	4 kg/jour	2 255 700
Vache	3 090 000	16 kg/jour	18 045 600

L'ensemble du cheptel décrit ci avant composé de 3,1 millions de vache et 1,6 million de veau a besoin de près de 20 Mt de production fourragère (ou équivalent nutritionnel) par an. Il s'agit d'une **baisse de près de 75% en tonnage.**

Conclusion - cheptel bovin

Un cheptel à vocation exclusivement laitier qui répond aux besoins en calcium de la population française (4,6 millions de têtes dont 2 millions de vaches en production laitière) permet de réduire les émissions directes du cheptel bovin français de 69% par rapport au cheptel actuel (laitier + viande : 20 millions de têtes, dont 3,9 millions de laitières en production). Ce scénario permet de produire par an/personne, **200 litres de lait, 2 kg de viande de bœuf et 2 kg de viande de veau.**

Tableau 7 : Émissions direct prévisionnel en CH₄ et N₂O pour le cheptel bovin actuel et 2050

	2017	Scénario - Besoin en calcium de la population
Fermentation entérique du cheptel de ruminants	34,0 MTeCO ₂ (CH ₄)	9,6 MTeCO ₂ (CH ₄)
CH ₄ des déjections	3,6 MTeCO ₂ (CH ₄)	0,4 MTeCO ₂ (CH ₄)
N ₂ O des déjections	2,5 MTeCO ₂ (N ₂ O)	2,2 MTeCO ₂ (N ₂ O)
TOTAL :	40,1 MTeCO₂	12,2 MTeCO₂

Selon ce scénario (besoin en calcium couvert par des vaches abattues à 7 ans), les laitières produiraient 1 veau par an. Une partie des génisses viendrait remplacer les laitières, et les autres surmuméraires ainsi que les mâles seraient abattus à 6 mois. La filière viande se résumerait aux vaches laitières de réforme et aux veaux abattus à 6 mois. Une vache produirait de l'ordre de 25 000 litres en 4 ans de production, fournirait également 250 kg de viande net commercialisable (VNC) en fin de parcours et 5 veaux, dont 4 seraient abattus à 6 mois (1 gardé pour renouvellement) et fourniraient également chacun 63 kg de VNC (35% de 181 kg, poids vif à l'abatage à 6 mois), soit 500 kg en tout.

Aux 200 litres annuellement consommés par personne, correspondrait une disponibilité en viande de 2 kg de viande de bœuf et 2 kg de veau.

En laissant vivre la vache 12 ans plutôt que 7, la quantité de viande disponible serait ramenée de 4 à 3 kg/an/personne, avec des émissions réduites de 10% supplémentaire.

4.3.4.2 Scénario compatible SNBC concernant les autres productions animales

État des lieux et projections des émissions liées à la production animale hors bovin : réduire à moins de **0,3 MtCO₂e_(CH₄)** et à moins de **0,5 MtCO₂e_(N₂O)**

Le reste du cheptel Français est principalement composé de :

- 15 millions de porcs consommant de l'ordre de 12 Mt de matière végétale par an (2,2 kg de matière sèche/jour/porcin),
- 8 millions de moutons (et dérivé) consommant de l'ordre de 8 Mt de fourrage par an (2,5 kg/jour/ovine)
- 2 Mt de carcasses de volailles que l'on aura nourri avec près de 6 Mt de céréales (environ 100 g par jour).

Les émissions directes associées sont du méthane entérique pour les ruminants et du méthane et du N₂O pour les déjections de l'ensemble.

Le sort des ovins sera du même ordre que celui des bovins. Les émissions des ruminants seront réduites à la portion congrue. Elles passeront de 2,5 à moins de **0,3 MtCO₂e_(CH₄)**.

Pour ce qui concerne les déjections, les émissions associées atteignent aujourd'hui pour l'ensemble⁶¹ « porcins+volailles+ovins » 5,6 MtCO₂e_(CH₄) et 1,7 MtCO₂e_(N₂O). Dans l'ensemble, ces émissions de GES via les systèmes de traitement de déjections devraient disparaître avec des adaptations technologiques appropriées et qui trouveront des financements adaptés dans une gamme fourchette de valorisation du CO₂ rapidement atteignable (30 à 80 €/tCO₂e)

La généralisation de ces méthodes de traitement sans émission réduira à presque rien les émissions de méthane et à moins de **0,5 MtCO₂e_(N₂O)** les émissions de N₂O.

4.3.4.3 Scénario compatible SNBC concernant la production végétale

Les principales surfaces et productions assurées par les 29 Mha de SAU françaises sont détaillées dans le tableau suivant⁶²:

Tableau 8: Détail de l'affectation en production de la SAU française

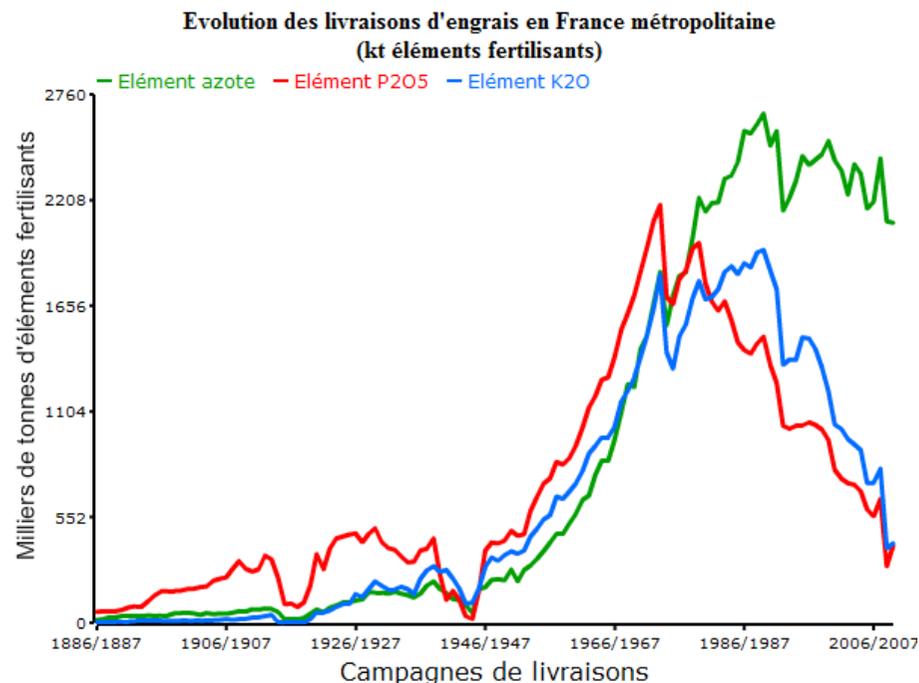
Type de culture	Surface en ha	Tonnage produit
Prairies non permanentes et surface toujours en herbe (STH)	13 067 179 ha	59 574 707 tonnes
Céréale	9 266 439 ha	65 675 802 tonnes
Oléagineux	2 238 470 ha	6 648 158 tonnes
Fourrages annuels	1 672 334 ha	17 739 056 tonnes
Protéagineux	404 422 ha	1 596 776 tonnes
Cultures non alimentaires	615 587 ha	4 921 005 tonnes
Betteraves industrielles et canne à sucre	422 743 ha	34 672 936 tonnes
Pommes de terre et tubercules (DOM)	165 945 ha	6 671 862 tonnes
Autre	416 340 ha	8 848 326 tonnes
SAU France	28 269 459 ha	206 348 627 tonnes
Dédié à la production fourragère et au bétail	14 739 513 ha	77 313 763 tonnes

Les émissions associées à l'exploitation de ces surfaces agricoles sont du carburant pour les tracteurs (7,4 MtCO₂/an), du CO₂ de l'industrie pour la fabrication du matériel agricole correspondant (1,9 MtCO₂/an), du CO₂ pour la fabrication des intrants (essentiellement les engrais azotés synthétiques (11,7 MtCO₂/an) et enfin des émanations de protoxyde d'azote qui découlent du dépôts d'engrais azotés synthétiques ou naturels (à hauteur de 28 MtCO₂e_(N₂O)) et de choix de parcours agricoles pour les terres (choix du type de plante, du rejet ou non des broyats – 5 MtCO₂e_(N₂O)/an).

Le cas de l'azote et du protoxyde d'azote :

Le graphique ci-dessous présente l'évolution des volumes d'engrais distribués en France depuis 120 ans. Pour les engrais azotés, il s'agit de fertilisant synthétique. Le volume actuel (2017) est de l'ordre de 2 millions de tonnes d'azote (masse élément N).

Figure 10: Evolution des volumes de fertilisant distribué depuis 1886



A ces apports d'engrais synthétiques s'ajoute de l'ordre de 800 000 tonnes d'azote apportées par les engrais de fermes (le fumier, le lisier).

Cette fertilisation azotée entraîne toute une série d'émissions de N₂O dans l'atmosphère. Les 33 MtCO₂e_(N₂O) émis par les sols en 2017⁶³ sont le fait du détail d'émissions suivant.

Tableau 9: origine du protoxyde d'azote émis par les sols en France en 2017⁶⁴

Emissions directes par épandage d'engrais synthétique	10,5 MTeCO ₂ (N ₂ O)	32%
Emanation de N ₂ O par les déjections des animaux en pâturage	8,1 MTeCO ₂ (N ₂ O)	24%
Emissions indirectes atmosphérique induite par le lessivage des fertilisant azotés	5,0 MTeCO ₂ (N ₂ O)	15%
Emissions directes induite par le processus de décomposition des broyats de récolte	4,9 MTeCO ₂ (N ₂ O)	15%
Emissions directes par épandage d'engrais de ferme (fumier,...)	2,7 MTeCO ₂ (N ₂ O)	8%
Emissions indirectes atmosphérique induite par l'épandage de fertilisant azoté	1,4 MTeCO ₂ (N ₂ O)	4%
Emissions directes induite par l'exploitation des tourbière	0,5 MTeCO ₂ (N ₂ O)	2%
Emanation de N₂O par les sols agricoles (engrais azotés) :	33 MTeCO₂ (N₂O)	100%

Les apports « anthropiques » d'azote au champ engendrent à eux seuls de l'ordre de **33 MtCO_{2e}(N₂O)/an**. De meilleures pratiques agricoles permettraient de faire en sorte que l'azote profite mieux aux plantes et moins à l'effet de serre. Cela dépend largement des conditions de sols et des conditions climatiques et les marges de progrès sont aujourd'hui peu maîtrisées par la communauté scientifique autant que par le monde agricole.

La première mesure qui consisterait à réduire unilatéralement les apports azotés aurait des conséquences immédiates sur les rendements.

Compte tenu du scénario dessiné ci-avant (réduction du cheptel ruminant), **les besoins en production végétale serait réduit d'environ 50 Mt de matière sèche** en calibrant le cheptel bovin sur les seuls besoins en calcium de la population.

Cela permettrait de libérer de l'ordre de 10 à 12 Mha de SAU. A ce stade, nous proposons deux options, chacune représentant une extrémité de la fourchette envisageable :

- Sur un total de SAU de 29 Mha, 10-12 Mha libérés permettent de réduire de 2/3 les apports azotés en compensant les pertes de rendements associées par les surfaces supplémentaires à exploiter. Dans ce cas les émissions de N₂O des sols pourraient probablement passer de **33 MtCO_{2e}(N₂O)/an** à une valeur

proche de **10 MtCO_{2e}(N₂O)/an**. On constaterait alors un gain associé de près de 5 MtCO₂ sur la production de ces engrais azoté supprimées.

- Soit on conserve le même type de production qu'aujourd'hui sur les 21 Mha conservés et on convertit les 10-12 Mha libérés par la filière bovine-ovine pour de la production d'énergie et de matériaux de construction. Dans ce cas, en utilisant les mêmes procédés d'amendement azoté que pour le reste de la production agricole (les apports des déjections animales sont remplacées par d'autres apports azoté équivalents), seul un gain potentiellement fragile sur de meilleures pratiques d'épandage permettrait de gagner sur les émissions de N₂O. Tablons qu'on restera donc probablement aux alentours de **30 MtCO_{2e}(N₂O)/an**.

4.3.4.4 Synthèse de la projection à 2050 sur les émissions de gaz à effet de serre de la filière alimentaire au sens large

Le tableau suivant reprend les résultats des hypothèses décrites ci avant concernant la réduction du cheptel bovin. Cet axe de travail apparaît absolument incontournable pour respecter la feuille de route de la Stratégie nationale Bas Carbone telle que décrite en 2020 par l'état français.

Tableau 10: Scénario compatible SNBC pour l'agriculture et l'agro-industrie française

Famille d'émission	Volume (ordre de grandeur 2017)	Scénario 2050 "Azote Plus" (alimentation+énergie+matériaux biosourcés)		Scénario 2050 "Azote Moins" (essentiellement alimentation)	
Fermentation entérique (CH4 -91% Bovine)	34,7 MTeCO2 (CH4)	10,0 MTeCO2 (CH4)	-71%	10,0 MTeCO2 (CH4)	-71%
Emanation de N2O par les sols agricoles (engrais azotés, fumier, pâturage, décomposition des résidus...):	33,2 MTeCO2 (N2O)	30,0 MTeCO2 (N2O)	-10%	10,0 MTeCO2 (N2O)	-70%
Fabrication des engrais azotés (CO2, >80% à l'étranger):	11,7 MTCO2	11,7 MTCO2	0%	6,7 MTCO2	-43%
Carburant engins agricole en France (pêche exclue)	7,4 MTCO2	5,0 MTCO2	-32%	5,0 MTCO2	-32%
industrie agroalimentaire aval	7,4 MTCO2	3,7 MTCO2	-50%	3,7 MTCO2	-50%
Fret (55 milliards de ton.km en 2018 agricole et alimentaire - comptes des transports 2017)	5,0 MTCO2	2,5 MTCO2	-50%	2,5 MTCO2	-50%
Emballage	4,7 MTCO2	2,5 MTCO2	-47%	2,5 MTCO2	-47%
Déjections animale - émanation de méthane (bovins 57% - Porcs 35%):	3,6 MTeCO2 (CH4)	1,0 MTeCO2 (CH4)	-72%	1,0 MTeCO2 (CH4)	-72%
chaîne du froid - Gaz-F agro-alimentaire	2,7 MTeCO2 (Gaz F)	0,9 MTeCO2 (Gaz F)	-67%	0,9 MTeCO2 (Gaz F)	-67%
Déjections animale - émanation de N2O:	2,5 MTeCO2 (N2O)	1,0 MTeCO2 (N2O)	-60%	1,0 MTeCO2 (N2O)	-60%
Machinisme agricole France - amortissement annuel	1,9 MTCO2	1,3 MTCO2	-32%	1,3 MTCO2	-32%
Chauffage des serres et installations agricoles	1,3 MTCO2	0,3 MTCO2	-75%	0,3 MTCO2	-75%
Application d'urée - dégazage de CO2 (CO2)	1,3 MTCO2	1,3 MTCO2	0%	1,3 MTCO2	0%
Chaulage (Décomposition du calcaire - CO2)	0,6 MTCO2	0,6 MTCO2	0%	0,6 MTCO2	0%
	118 MTeqCO2	72 MTeqCO2	-39%	47 MTeqCO2	-60%

On précise ci-dessous, les évolutions connexes qui sont intégrées par ailleurs dans la stratégie nationale.

La fabrication des engrais azotés : la séquestration géologique du CO₂ émis à l'occasion de la production de ces engrais (fabriqués à partir de gaz naturel – CH₄ selon le procédé Fischer Tropsch) pourrait être une piste, mais celle-ci ne décolle pas depuis 20 ans qu'elle fait une partie de l'actualité du CO₂. Sans perspectives d'amélioration anticipable en 2020, on conserve à ce stade une émission inchangée par rapport à aujourd'hui : 11,7 MtCO_{2e(CO2)}. Ces émissions sont aujourd'hui largement le fait de sites situés à l'étranger. Elles sont réduites à 6,7 tCO₂ dans le cadre du scénario « AZOTE Moins ».

Le carburant des engins agricoles : on table sur une meilleure efficacité énergétique de l'ensemble du matériel. Une réduction de 40% est envisagée pour maintenir une exploitation du même ordre sur une SAU inchangée. On passe de 7,4 MtCO_{2e(CO2)} à 5 MtCO_{2e(CO2)}.

L'industrie agroalimentaire, en améliorant les process et en migrant vers des énergies moins carbonées réduira son impact CO₂ de 50%, passant de 7,4 MtCO₂ à 3,7 MtCO₂.

Le fret progresse à hauteur des progrès attendus dans le secteur (50% grâce à des changements d'énergie, et de l'efficacité énergétique). Il vaudra toujours mieux aller chercher des légumes en Espagne en hiver plutôt que de les faire pousser en Europe du nord dans des serres chauffées. Cet enjeu reste secondaire pour l'alimentation. Le fret aérien reste banni. 5 MtCO_{2/an} réduit à 2,5 MtCO_{2/an}.

L'industrie de l'emballage progresse et gagne 50% sur ses émissions. Il s'agit de moins d'emballage, d'une réorientation vers des emballages moins carbonés par l'industrie agroalimentaire et de meilleurs impacts carbone pour l'ensemble des matériaux utilisés. On passe de 4,7 MtCO₂ à 2,5 MtCO₂.

La chaîne du froid industrielle progressera vers des fluides frigorigènes plus sobres en impact CO₂. On envisage un gain de 66% passant de 2,7 MtCO_{2e(Gaz-F)} à 0,9 MtCO_{2e(Gaz-F)}.

Le machinisme agricole, en améliorant les process des fabricants et la mutualisation du matériel (meilleur amortissement avec un plus grand nombre d'heures travaillées par outil) permettra de gagner 40% passant de 1,9 MtCO₂ à 1,3 MtCO₂.

Le chauffage des serres et des installations agricoles est nettement réduit. L'amélioration des procédés et l'éventuelle relocalisation de certaines productions sous des ciels plus cléments permettra de gagner 75% sur ce poste qui passera de 1,3 MtCO₂ à 0,3 MtCO₂.

Ces scénarios compatibles avec la feuille de route de la Stratégie Nationale Bas Carbone préservent le climat autant que l'emploi des agriculteurs.

Conclusions sur les évolutions envisageables pour les émissions agricoles

L'ensemble des dispositions proposées se résume principalement par :

- Un recalage du cheptel bovin sur les besoins en produit laitier correspondant au besoin nutritionnel de la population en calcium ;
- Une réduction analogue du cheptel ovin ;
- Une généralisation des systèmes de traitement des déjections animales peu émetteurs de GES (méthaniseur en priorité, voie sèche en seconde position) ;
- Viennent ensuite deux orientations distinctes, qui privilégient soit un système agricole qui produira également de l'énergie et des matériaux biosourcés, soit un système plus extensif, orienté vers une agroécologie poussée, peu exigeante en intrants, produisant essentiellement de l'alimentation humaine, avec des rendements moindres, mais néanmoins adaptés dans un monde où la consommation de viande est relativement réduite.

L'ensemble des évolutions proposées permet d'envisager une baisse globale de 40% des émissions de GES de la filière.

Tableau 11: Evolution envisageable des émissions par GES pour la filière agricole (alimentaire et autre) à l'horizon 2050

	2018	2050 "AZOTE PLUS"	Evolution 2018/2050	2050 "AZOTE Moins"	Evolution 2018/2050
CO2	41,2 MTCO2	28,8 MTCO2	-30%	23,8 MTCO2	-42%
CH4	38,3 MTeCO2 (CH4)	11,0 MTeCO2 (CH4)	-71%	11,0 MTeCO2 (CH4)	-71%
N2O	35,7 MTeCO2 (N2O)	31,0 MTeCO2 (N2O)	-13%	11,0 MTeCO2 (N2O)	-69%
Gaz-F	2,7 MTeCO2 (Gaz F)	0,9 MTeCO2 (Gaz F)	-67%	0,9 MTeCO2 (Gaz F)	-67%
TOTAL	118 MTeCO2	72 MTeCO2	-39%	47 MTeCO2	-60%

4.3.5 Modèle de consommation alimentaire bas-carbone

Avant de réintroduire ces émissions dans le budget individuel « nourriture », il convient de déduire ce qui sera induit par l'agriculture à destination de filière non alimentaire ou d'exportation. Il s'agit principalement d'une part significative des émissions de N₂O des sols, des consommations d'engrais et de carburant du machinisme agricole qui auront d'autres fonctions que l'alimentation humaine.

4.3.5.1 Cohérence avec le modèle de production nationale

A l'heure actuelle, la production agricole végétale nationale représente de l'ordre de 220 Mt de denrées/an⁶⁵.

Tableau 12: Production végétale française (en quantité)

Production végétale France 2018 (source Agrest)	tonnage récolté	% de matière sèche (MS)	Tonnage de MS pour l'alimentation animale	Tonnage de MS pour l'alimentation humaine	Export (tonnes de matières sèches)
Total toutes céréales	62 563 433	87%	17 890 187	6 090 000	30 450 000
Betteraves industrielles	39 914 027	20%	-	7 982 805	très secondaire sur le tonnage total
Prairies permanentes (herbe)	34 654 024	87%	30 149 001	-	
Prairie temporaires (herbe)	20 398 916	87%	17 747 057	-	
Fourrage (maïs à 95%)	18 113 024	35%	6 339 558	-	
Pailles de céréales	15 969 549	87%	13 893 507	-	
Pommes de terre	7 858 921	20%	-	1 571 784	
Vignes à raisin de cuve	6 232 726	10%	-	623 273	
Pois, féverole,..	6 678 726	85%	2 838 459	2 838 459	
Legumes	5 675 095	6%	-	340 506	
Fruits	2 578 652	10%	-	257 865	
	220 637 091		88 857 768	19 704 692	30 450 000
			64%	14%	22%

Les tonnages récoltés rassemblent à la fois des éléments très secs, à forte valeur énergétique par unité de masse (blé = 3700 kCal/kg) et d'autres produits composés essentiellement d'eau, et donc peu énergétiques (betterave = 400 kCal/kg, tomate = 180 kCal/kg). Pour établir une équivalence, on revient à la tonne de matière sèche,

plus proche du contenu énergétique de la production mise sur le marché. On constate alors que La production dédiée à l'alimentation animale est 4,5 fois supérieure celle dédiée directement à l'alimentation humaine, rejoignant ainsi le ratio constaté dans le Bilan Carbone de notre alimentation qui attribue 80% des émissions à la filière viande et aux produit laitiers.

La même analyse réalisée sur la surface agricole utile (SAU) donne le même ratio.

Tableau 13: Production végétale française (en surface)

Production végétale France 2018 (source Agrest)	Surface cultivée (ha)	Surface dédiées à l'alimentation animale	Surface dédiées directement à l'alimentation humaine	Surface dédiées à l'export
Total toutes céréales	9 054 360	2 975 999	1 013 060	5 065 301
Betteraves industrielles	485 854	-	485 854	
Prairies permanentes (herbe)	9 534 984	9 534 984		
Prairie temporaires (herbe)	3 073 225	3 073 225		
Fourrage (maïs à 95%)	1 690 607	1 690 607		
Pailles de céréales				
Pommes de terre	199 384		199 384	
Vignes à raisin de cuve	745 381		745 381	
Pois, féverole,..	2 357 145	1 178 573	1 178 573	
Legumes	311 721		311 721	
Fruits	165 232		165 232	
	27 617 893	18 453 388	4 099 205	5 065 301
		67%	15%	18%

très secondaire sur le tonnage total

Le tableau suivant restitue la masse en poids vif, du cheptel de l'élevage en France. Il a été établi à partir du fichier de détail de l'inventaire agricole 2018, et des poids vifs de chaque catégorie d'animaux indiquées à l'inventaire. Les bovins représentent 80% de la masse total des animaux vivant en France. A titre de comparaison, l'ensemble des français pèsent de l'ordre de 3,6 Mt. Il est intéressant de noter que pour chaque Français nourri, il convient de nourrir 3,3 fois son poids en animaux d'élevage.

Tableau 14: Masse en poids vif du cheptel de l'élevage en France en 2018

Espèce	nb de tête 2018 - cheptel vivant	poids moyen par tête (kg)	tonnage vif	
Bovin	18 487 986	505	9 336 711	80%
Porcin	13 202 118	58	768 809	7%
Caprin	1 264 330	45	57 165	0%
Ovins	8 286 455	64	529 169	5%
Equidés	555 521	684	380 199	3%
Vollailles	298 223 000	1,9	553 740	5%
	340 019 410		11 625 791	100%

En 2050, selon les scénarios exposés ci-avant, (élevage bovin limité à la production de lait pour répondre aux besoins en calcium selon les critères de l'OMS, réduction du même ordre des autres cheptels de ruminant – ovins, caprins), le tonnage vif du cheptel national serai réduit de 63% :

Tableau 15: Masse en poids vif du cheptel de l'élevage en France en 2050

Espèce	nb de tête 2050 - cheptel vivant	poids moyen par tête (kg)	tonnage vif	
Bovin (-70%)	5 665 000	414	2 343 250	55%
Porcin	13 202 118	58	768 809	18%
Caprin (-70%)	387 410	45	17 516	0%
Ovins (-70%)	2 539 096	64	162 145	4%
Equidés	555 521	684	380 199	9%
Vollailles	298 223 000	1,9	553 740	13%
	320 572 145		4 225 659	100%

En 2050, selon le schéma exposé ci-avant, les besoins de production agricole végétale ne s'élèveront plus qu'à **60 Mt/an** environ, à destination des animaux ou de l'homme directement.

Pour la nutrition animale, **40 Mt/an** permettront de satisfaire les besoins de la population française en protéines animales (20 Mt/an pour la production laitière, 12 millions t/an pour les porcins, et 6 Mt/an pour la volaille).

Enfin, pour l'assimilation directe de production végétale, on les évalue à 250 g/repas/pers, à raison de 2,5 repas par jour et 365 repas par an, les besoins pour 70 millions de français (230 kg/an/hab) seront de 16 Mt par an (**20 Mt/an au niveau des organisme collecteur – coopérative, à l'amont de l'industrie agroalimentaire**). On attribue ainsi à l'alimentation nationale près de 60 Mt/an de notre capacité de production végétale totale maintenue à 200 Mt/an, mobilisant toujours 29 Mha de SAU exploité.

Ainsi, près des deux tiers des émissions de GES pour la production végétale n'auront pas d'issue dans nos assiettes : elles seront écoulées soit en exportation, soit en matériaux de construction (agro-carburants) rentrant alors dans un autre poste de dépense carbone non traité dans ce chapitre.

Le tableau des émissions agricole dédiée exclusivement à l'alimentation française (animale ou humaine) deviendrait alors :

Tableau 16: Émissions de GES de la filière alimentation dédiée à l'approvisionnement national en 2050

Famille d'émission	Volume (ordre de grandeur 2017) et quote part par catégorie		projection 2050 - pour alimentation humaine exclusivement, et % de réduction atteint	
Fermentation entérique (CH4 -91% Bovine)	34,7 MTeCO2 (CH4)	29%	10,0 MTeCO2 (CH4)	-71%
Emanation de N2O par les sols agricoles (engrais azotés, fumier, paturage, décomposition des résidus...):	33,2 MTeCO2 (N2O)	28%	10,0 MTeCO2 (N2O)	-70%
Fabrication des engrais azotés (CO2, >80% à l'étranger):	11,7 MTeCO2	10%	3,0 MTeCO2	-74%
Carburant engins agricole en France (pêche exclue)	7,4 MTeCO2	6%	2,5 MTeCO2	-66%
industrie agroalimentaire aval	7,4 MTeCO2	6%	3,7 MTeCO2	-50%
Fret (55 milliards de ton.km en 2018 agricole et alimentaire - comptes des transports 2017)	5,0 MTeCO2	4%	2,5 MTeCO2	-50%
Emballage	4,7 MTeCO2	4%	2,5 MTeCO2	-47%
Déjections animale - émanation de N2O :	2,5 MTeCO2 (N2O)	2%	1,0 MTeCO2 (N2O)	-60%
chaîne du froid - Gaz-F	2,7 MTeCO2 (Gaz F)	2%	0,9 MTeCO2 (Gaz F)	-67%
Déjections animale - émanation de méthane (bovins 60% - Porcs 35%) :	3,6 MTeCO2 (CH4)	3%	1,0 MTeCO2 (CH4)	-72%
Machinisme agricole France - amortissement annuel	1,9 MTeCO2	2%	0,6 MTeCO2	-66%
Chauffage des serres et installations agricoles	1,3 MTeCO2	1%	0,3 MTeCO2	-75%
Application d'urée - dégazage de CO2 (CO2)	1,3 MTeCO2	1%	1,3 MTeCO2	0%
Chaulage (Décomposition du calcaire - CO2)	0,6 MTeCO2	1%	0,6 MTeCO2	0%
	118 MTeqCO2	100%	40 MTeqCO2	-66%

Nota : Les cellules colorées sont celle qui diffèrent du scénario 2050 global de l'agriculture après déduction des émissions qui ne seront plus imputée à l'alimentation des français, mais plutôt à l'industrie de l'énergie et des matériaux biosourcés ou à l'exportation. Dans ce scénario seul 1/3 de la SAU sert l'alimentation de la population.

Ce dernier tableau recense l'ensemble des émissions induites par la filière d'alimentation qui permettra de nourrir la population du territoire seul en 2050. Cela permet d'envisager des émissions par personne et par gaz à effet de serre suivante :

Tableau 17: Poids de l'alimentation dans le panier de quotas individuel

Scénario par GES 2050 pour l'alimentation	2050	KgeCO2/personne/an
CO2	17,1 MTeCO2	227 kgeCO2/pers./an
CH4	11,0 MTeCO2 (CH4)	147 kgeCO2/pers./an
N2O	11,0 MTeCO2 (N2O)	147 kgeCO2/pers./an
Gaz-F	0,9 MTeCO2 (Gaz F)	12 kgeCO2/pers./an
TOTAL	40,0 MTeCO2	533 kgeCO2/pers./an

Nous obtenons alors un budget carbone de 533 kgCO₂e par an et par personne. **Nous arrondissons à 540 kgCO₂e le poste de dépense « se nourrir ».**

4.3.5.2 Incidence sur l'équilibre alimentaire de la population

Actuellement les principales consommations de viande de la population française tournent autour de 3 filières ⁶⁶ : le porc avec 36 kg/an/pers, le bœuf avec 27 kg/an/pers, la volaille avec 24 kg/an/pers et les ovins-caprins pour 5 kg/an. Il s'agit de kg eq.carcasse.

Cela totalise 252 g/jour/personne en moyenne.

Pour le porc, cela représente une consommation nationale de 2,3 Mt/an. La production française s'élève à près de 2,2 Mt d'équivalent carcasse. La filière est donc globalement équilibrée même si elle donne lieu à de nombreux échanges avec le reste de l'Europe et également le grand export.

Pour la volaille, cela représente une consommation de 1,5 Mt de volaille. Avec une production de 2 Mt, la balance commerciale de la volaille française est largement positive.

La quasi-suppression de la viande de bœuf (2kg bœuf + 2kg veau /pers /an), ainsi que la réduction d'ovins et de caprins à 3 kg/an/pers de notre alimentation ramènerait notre consommation de viande à 164 g/jour/hab. Cela reste au-dessus de la moyenne mondiale (106 g/jour/humain ⁶⁷) et des besoins nutritionnels de l'humain standard de l'avis de nombreux nutritionnistes.

Nos préconisations de sobriété alimentaire portent principalement sur une baisse des protéines animales en général au profit de protéines végétales, mais surtout sur la réduction importante des protéines issues de ruminants (viande bovine, produit laitier, agneau, pour une baisse du CH₄, et secondairement pour l'ensemble des trois gaz).

4.3.5.3 Exemple d'un panier alimentaire compatible 2050

Il s'agit d'illustrer dans ce poste le panier de course type qui reste cohérent avec l'objectif individuel « pro facteur 6 ».

Les émissions rapportées recouvrent à la fois les étapes agricoles, le cas échéant la transformation par l'industrie agroalimentaire, l'ensemble des opérations de transport, le circuit de distribution (l'éclairage, chauffage, climatisation, réfrigération dans les grandes surfaces par exemple).

Ne sont pas intégrés :

- les déplacements domicile travail des salariés en interaction avec les étapes visées ci avant (ceux-ci sont comptés dans les budgets CO₂ individuels « se déplacer » desdits salariés),

- le trajet pour se rendre au commerce (ses déplacements sont comptés dans notre propre budget CO₂ « se déplacer »),
- les émissions induites par la préparation au domicile : le gaz et l'électricité sont comptés dans notre budget CO₂ « se loger ».

Les marges de manœuvre par rapport à un panier actuel :

- Le résultat : pas de baisse significative envisageable sur le CO₂.
- Des progrès très importants attendus sur le CH₄, et indirectement, des progrès significatifs sur le N₂O.

L'ensemble des dispositions proposées ci avant autorisent un panier annuel de courses par personne constitué de (cf Tableau suivant) :

- 200 L de lait ou équivalent en produits laitiers selon les préférences (beurre, yaourts, fromages, crème...),
- 59 kg de viande (avec une restriction à 2kg de bœuf, 2 kg de veau et 3 kg d'ovins et caprins de par leur impact plus lourd en termes d'émissions GES) ce qui correspond à la préconisation de 160g de viande/jour/personne
- 230 kg de fruits, légumes et céréales.

Tableau 18 : Panier de courses annuel par personne pour un budget individuel "Se nourrir" pro-facteur 6 (impact exprimé en kgCO₂e)

		Préconisations "pro facteur 4"		Emissions (kg/an)		
		Par pers/ par an	Par pers/ par semaine	CO2	N2O	CH4
Produits laitiers	200 L de lait		3,8 L lait ou équivalent, ex : 3 portions de 10g beurre (eq 0,7 L lait) +7 yaourts de 100g (eq 0,8 L lait) +3 portions de 30g de fromage (eq 0,9 L lait) +1 touche de 60 ml crème (eq 0,4 L lait) +1 L lait	64	78	192
Prot. animales (59 kg/an)	2 kg bœuf +2kg veau		~1 steak de 125g 1 semaine sur 2			
	1,5 kg d'ovins +1,5 kg caprins		1 portion de 100g mouton/ agneau 1 semaine sur 2			
	13,5 kg Porc		2 x 30g saussicon +2 x 40g jambon +2 x 60g lardons	37	29	29
	19,5 kg Poulet		1 poulet de 1,5 kg partagé à 4 par semaine	41	27	70
	19 kg Œufs		6 œufs par semaine	40	26	67
Végétaux	230 kg fruits, légumes & céréales		4 kg par semaine, soit 10 portions de 150g de céréales +7 portions de 100g de légumes +7 portions de 100g de crudités +7 portions de 150g de fruits	32	22	
				6	4	
				6	4	
				5	5	
				233	196	359

Ce panier totalise 780 kgCO₂e, soit plus que le budget précédemment prévu de 540 tCO₂e (*Tableau 17 : Poids de l'alimentation dans le panier de quotas individuel* page 43). Mais ce panier a été calculé avec les facteurs d'émissions actuels qui devraient réduire avec l'optimisation du système agricole.

Deux exemples en annexes présentent une liste de courses, soit spécifique à une semaine type hors vacances (intégrant ainsi l'impact de la restauration collective dans le calcul des émissions de GES), soit spécifique à une semaine type de vacances. Ils illustrent le champ des possibles en termes de déclinaison du budget individuel pro-facteur 6 pour « Se nourrir ».

Conclusion « Je me nourris »

Le système alimentaire proposé permet d'assurer les besoins en calcium, une consommation de viande de 160 g/jour/personne, en imputant un impact total de 540 kgCO₂e/an/pers.

=> **540 kgCO₂e/an/personne pour se nourrir,**

dont 230 kgCO₂/an/pers, 150 kgCO₂e_(CH4) et 150 kgCO₂e_(N2O)

4.4 Pourquoi 660 kgCO₂e/an pour s'équiper, ses loisirs et les divers ?

Parce qu'il faut bien refermer le modèle sur l'objectif global de 2 tCO₂e/an/personne.

450 kgCO₂ pour se déplacer + 350 kgCO₂ pour se loger + 540 kgCO₂e pour se nourrir = 1 340 kgCO₂e

Reste donc 660 kgCO₂e (dont 400 kgCO₂)

Il s'agit donc d'essayer de dresser un état de ce que chacun peut choisir de faire avec ses 660 kgCO₂e restants.

Les transports, l'habitat et l'alimentaire sont assurés. Il reste le « superflu », pourtant qualifié d'essentiel au quotidien et qui fait l'objet de toutes les attentions dans notre modèle de consommation.

C'est donc un effort qu'auront à réaliser tous les acteurs de notre société qui proposent des services ou des produits à la population à l'exception de l'industrie automobile, des agriculteurs, de l'industrie agroalimentaire et de tout le secteur du BTP dont l'activité a déjà été largement contrainte par le modèle proposé ci-dessus.

Dans l'immédiat, on peut seulement exposer ci-après le contenu carbone couramment rencontré pour quelques produits et service susceptibles de rentrer dans cette catégorie « équipement, loisir, divers ».

Les 660 kgCO₂e dont il est question ici se décomposent entre les postes suivants :

- Services publics (santé, enseignement ...) : **270 kgCO₂e/an**
- Achat d'équipements (vêtements, matériel audiovisuel et informatique, mobilier et d'électroménager) : **225 kgCO₂e/an**
- Loisirs et voyages autres qu'en voiture (avion en particulier) **165 kgCO₂e/an**, ce qui laisse peu l'opportunité de voyager en avion à moins de rogner sur les autres postes pour s'autoriser un voyage tous les 10 ans...

4.4.1 Les services publics

Les différents calculateurs de bilan carbone^{68,69} estiment à l'heure actuelle la consommation des services publics (l'éducation nationale, l'hôpital public, la justice, défense...) entre **1 et 1,3 tCO₂e/an/personne**. Comme cela a été remarqué au sujet des gares ferroviaires, la médiocrité environnementale du patrimoine immobilier du service public induit une consommation de chauffage très énergivore.

Fort heureusement, si les services publics sont particulièrement en retard sur la transition énergétique de leur patrimoine par rapport à la situation moyenne du tertiaire, c'est aussi pour eux que les travaux sont les plus rentables. A travaux égaux, les économies sont nettement plus importantes. S'agissant pour l'essentiel

de chauffage, les dispositions proposées plus haut devraient permettre d'aller au-delà d'un facteur 10, et libérer ainsi quelques kgCO₂e pour se vêtir, s'équiper, et se divertir.

Selon nos hypothèses, il est envisagé d'atteindre un facteur 5 global sur l'ensemble des services publics, qui permettrait, après rénovation des bâtiments publics, d'imputer **270 kgCO₂/an**.

4.4.2 Les biens d'équipement

4.4.2.1 Les vêtements

La moyenne actuelle étant de 10 kg d'achats par an, Il semble raisonnable de diviser par 3 nos achats de vêtement pour atteindre environ 3 kg et de privilégier l'achat d'occasion (cf Tableau 20), soit **100 kgCO₂e** (aujourd'hui **850 kgCO₂/an**, cf Tableau 19).

L'ADEME a publié un rapport en septembre 2018 sur l'évaluation des impacts environnementaux des produits de consommation et biens d'équipement⁷⁰.

Le cycle de vie complet est considéré pour calculer le contenu carbone d'un textile. Pour les articles d'habillement, les deux phases de cycle de vie les plus contributrices sont la phase de **production des matières premières** (35% en moyenne) et **l'étape de mise en forme** (36% en moyenne).

- Les matières premières
 - ~25%-30% pour les fibres de coton,
 - ~15%-20% pour les fibres de viscose, polyester
 - ~50% pour les fibres d'acrylique
 - ~70% pour la laine
- La mise en forme entre 15% et 45%, en mix énergétique consommé selon les pays de fabrication

Pour les chaussures, trois phases du cycle de vie ressortent : la production des matières premières (26% en moyenne), l'assemblage (25% en moyenne) et la distribution (27% en moyenne).

Si on ne considère que les phases de distribution, d'utilisation et de fin de vie pour les textiles et chaussures d'occasion, leur contenu carbone en est très diminué par rapport au neuf (cf Tableau 19). D'autant plus que les recycleries, friperies et autres...se développent beaucoup et participent à l'économie sociale et solidaire pour la majeure partie d'entre elles.

L'association Zero Waste France qui défend une démarche zéro déchets et zéro gaspillage ambitieuse, diffuse notamment le défi « Rien de neuf » (<https://riendeneuf.org/>) pour sensibiliser les citoyens à acheter leurs équipements d'occasion.

Tableau 19 : Empreinte carbone (kgCO₂e) par produit type⁷¹

Vêtement	kgCO ₂ e/produit neuf	keCO ₂ /produit d'occasion
Chemise en coton, Polo	10	1
T shirt	5	0,5
Jean	25	5
Pull acrylique, polaire	25	5
Pull laine (ruminant)	55	5
Robe	50	10
Manteau	90	12
Chaussures de sport	20	7
Chaussure de ville cuir	15	7

Le Tableau 20 ci-dessous illustre l'empreinte carbone d'une garde-robe type achetée neuve qui resterait dans l'objectif individuel de **100 kgCO₂e** « pro-facteur 6 », en précisant la durée d'utilisation contrainte spécifique.

Tableau 20 : Empreinte carbone annuelle d'une garde-robe neuve type « pro-facteur 6 »⁷²

Garde-robe	kgCO ₂ e/produits neufs	Durée d'utilisation	kgCO ₂ e/an
4 chemises	40	4	10
4 polos	40	4	10
5 Tshirts	25	3	8
3 jeans	75	3	25
2 polaires	50	7	7
2 pulls en laine	110	7	15
2 manteaux	180	7	25
3 paires de chaussures	50	3	16
Total kgCO₂e/an			116 kgCO₂e/an

Pour jouir d'une garde-robe plus fournie et renouvelable, il est primordiale de la constituer de vêtements d'occasion (cf Tableau 21).

Tableau 21 : Empreinte carbone annuelle d'une garde-robe essentiellement d'occasion type «pro-facteur 6 » ⁷³

Garde-robe	kgCO2e/ produits	Durée d'utilisation	kgCO2e/an
12 chemises	12	4	3
4 polos	4	4	1
8 Tshirts	4	2	2
5 jeans	25	2	12,5
3 polaires	15	3	5
4 pulls en laine	20	4	5
2 manteaux	24	4	6
1 manteau neuf	90	10	9
3 paires de chaussures cuir	21	3	7
1 paire de chaussures de sport	20	2	10
neuves			
Total kgCO2e/an			60,5 kgCO2e/an

4.4.2.2 L'audiovisuel et l'informatique

En comptant l'impact total pour un équipement complet de 250 kgCO₂e et en prenant en compte un renouvellement tous les 5 ans : 25 kgCO₂e/an (aujourd'hui 800 kgCO₂e/an).

L'ADEME rapporte que l'indicateur d'impact potentiel sur le changement climatique est dominé par la phase d'extraction et de production des matières premières et des composants. En effet, les composants électroniques nécessitent pour leur fabrication une grande quantité d'énergie et de matériaux rares dont l'extraction est complexe et génératrice d'impacts. Ainsi, les éléments les plus contributeurs sont les cartes électroniques, comprenant les composants, et les écrans LCD, batteries et autres composants.

Les transports ainsi que la phase d'utilisation (constituée principalement de la consommation d'électricité des produits), ont un impact non négligeable, voire dans de rare cas majoritaire du fait de transport en avion.

Le Tableau 22 illustre l'empreinte carbone d'un équipement type pour un foyer de 2 personnes.

Tableau 22 : Empreinte carbone pour un équipement type d'un foyer de 2 personnes. Seul l'achat d'occasion est « pro-facteur 6 » ⁷⁴

Équipement	kgCO2e/produit neuf par année d'utilisation	kgCO2e/produit d'occasion par année d'utilisation
1 Télévision	55	10
1 ordinateur portable	45	15
1 ordinateur fixe	35	18
1 tablette	25	5
2 smartphone	40	6
1 baladeur numérique	5	1
1 Chaîne hifi	3	0,5
1 Modem	25	8
1 imprimante	40	10
Total kgCO2e/an/foyer de 2 pers.	273 kgCO2e	73 kgCO2e
Total kgCO2e/an/ pers	136 kgCO2e	36 kgCO2e

Pour s'offrir un équipement complet, il est nécessaire de passer par l'achat de matériel d'occasion et/ou de prioriser ses choix d'équipement.

4.4.2.3 L'électroménager

En comptant l'impact total pour un équipement complet de 1 250 kgCO₂e (l'équivalent de 5 équipements lourds) par foyer de 2 personnes et en prenant en compte un renouvellement tous les 10 ans : **65 kgCO₂/an** (aujourd'hui **160 kgCO₂/an**).

Le Tableau 23 ci-dessous illustre l'empreinte carbone d'un équipement type en électroménager pour un foyer de 2 personnes.

Tableau 23 : Empreinte carbone pour un équipement type d'un foyer de 2 personnes. Seul l'achat d'occasion est « pro-facteur 6 »⁷⁵

Électroménager	kgCO ₂ e/produit neuf par année d'utilisation	kgCO ₂ e/produit d'occasion par année d'utilisation
Réfrigérateur combiné	40	20
Congélateur armoire	40	20
Sèche-linge condensation	45	25
Lave-linge 5kg	45	25
Lave-vaisselle	48	25
Four	18	8
Micro-onde	15	5
Machine à pain	10	5
Aspirateur	8	3
Total kgCO₂e/an/foyer de 2 pers.	269 kgCO₂e	136 kgCO₂e
Total kgCO₂e/an/ pers	134 kgCO₂e	68 kgCO₂e

Là encore, pour s'offrir un équipement complet, il est nécessaire de passer par l'achat de matériel d'occasion et/ou de prioriser ses choix d'équipement.

4.4.2.4 Le mobilier

En comptant l'impact total pour un équipement complet de 1 400 kgCO₂e (lit, salon, salle à manger et quelques meubles = équivalent de 4 lits) par foyer de 2 personnes et en prenant en compte un renouvellement tous les 20 ans : **35 kgCO₂/an** (aujourd'hui **140 kgCO₂/an**).

Le Tableau 24 ci-dessous illustre l'empreinte carbone d'un équipement type en mobilier pour un foyer de 2 personnes. Là encore, il est nécessaire de recourir à l'achat d'occasion pour que l'empreinte carbone reste dans la fourchette de l'objectif « pro-facteur 6 ».

Tableau 24 : Empreinte carbone pour un équipement en mobilier type d'un foyer de 2 personnes⁷⁶

Mobilier	kgCO ₂ e/produit neuf par année d'utilisation	kgCO ₂ e/produit d'occasion par année d'utilisation
10 chaises bois	10	10
1 table en bois massif	15	10
2 canapés convertibles	40	10
3 lits	120	35
Salon jardin	25	5
Total kgCO₂e/an/foyer de 2 pers.	210 kgCO₂e	70 kgCO₂e
Total kgCO₂e/an/ pers	105 kgCO₂e	35 kgCO₂e

4.4.3 Les loisirs

L'ADEME présente dans sa base carbone les facteurs d'émission à utiliser pour estimer les émissions associées aux achats de biens et services des organisations. Par exemple :

Tableau 25 : Les facteurs d'émissions monétaires, Base Carbone ADEME⁷⁷

Catégorie d'achat	Valeur	Unité
Hébergement et restauration	320	kgCO ₂ e / k€ HT
Activités créatives, artistiques et de spectacle; Bibliothèques, archives, musées et autres activités culturelles; Organisation de jeux de hasard et d'argent	210	kgCO ₂ e / k€ HT
Activités sportives, récréatives et de loisirs	270	kgCO ₂ e / k€ HT
Activités des organisations associatives	220	kgCO ₂ e / k€ HT

Les recherches internet par personne/an induisent 9,9 kgCO₂e/an⁷⁸.

Le tableau suivant illustre l'empreinte carbone des loisirs annuels d'une personne.

Tableau 26 : Empreinte carbone des loisirs

Services / loisirs	kgCO ₂ e/an
4 restaurants 100 €/an	32
4 spectacles 100 €/an	21
Activités sportives & loisirs à 200 €/an	54
6 cinémas 50 €/an	10
Stage de voile d'1 semaine 150€/an	40
Utilisation internet	10
Total	167 kgCO₂e/an

Quant aux voyages autres qu'en voiture, ils deviendront un luxe qui ne sera possible qu'en économisant sur les autres postes sur une période de plusieurs années. Pour mémoire :

- un A/R transatlantique **< 1 500 kgCO₂e**
- un WE à Marrakech, en avion **1 000 kgCO₂e**

En s'autorisant un voyage tous les 10 ans, l'amortissement induirait un coût carbone de 100 kgCO₂e/an ce qui remplacerait quasiment les deux tiers des loisirs au cours de la décennie concernée.

Conclusion « Je me diverts, m'équiper et le reste »

Pour clore l'objectif global de **2 tCO₂e/an/personne**, après déduction des 450 kg pour « se déplacer », des 350 kg pour « se loger » et des 540 kg pour « se nourrir », il s'agit de dresser un état de ce que chacun peut choisir de faire avec les 660 kgCO₂e restants :

Services publics : selon nos hypothèses, il est envisagé d'atteindre un facteur 10 d'économie d'énergie après rénovation des bâtiments publics qui permettrait d'imputer **270 kgCO₂/an pour le service de l'école, l'hôpital, la justice, la défense et autres...**

Les biens d'équipements : la sobriété et l'achat de biens d'occasion sont incontournables pour permettre de n'imputer que **225 kgCO₂e/an pour les vêtements, l'audiovisuel, l'électroménager et le mobilier de la maison...**

Loisirs : Il reste ainsi **165 kgCO₂e/an** pour les loisirs. De quoi s'offrir une adhésion annuelle à une activité sportive ou récréative, un stage d'activité pendant les vacances, quelques cinémas, restaurants et concerts dans l'année...**mais pas vraiment de vacances sur les tropiques à moins d'y aller en bateau à voile ou de renoncer à d'autres loisirs pendant 10 ans...**

=> 660 kgCO₂e/an/pers pour s'équiper, se divertir et participer aux services publics français.

5 ANNEXES

5.1 Tableaux et documents

Tableau 27 Menus d'une semaine d'une famille de 4 personnes (2A+2E) en « mode facteur 6 » - hors vacances

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Petit-dej	Céréales x2 Caféx2 Clémentines x4	Céréales x2 Caféx2 Poires x4	Pain beurre conf x4 Café x2 Lait x2 Clémentines x4	Céréales x2 Caféx2 Poires x4	Céréales x2 Caféx2 Poires x4	Pain beurre conf x4 Café x2 Lait x2 Clémentines x4	Pain beurre conf x4 Café x2 Lait x2 Poires x4
Dej	Cantine x4	Cantine x4	Cantine x4	Cantine x4	Cantine x4	Carottes x4 Poulet x4 Patates x4 Chèvre x4 Café x2	Pâtes x4 Pistou x4 Mâche x4 Café x2
Goûter	Cookies x2	Muffins x2	Pain x2 Chocolat x2	Cookies x2	Muffins x2	Pain x2 Chocolat x2	Pain x2 Chocolat x2
Dîner	Carottes x4 Pâtes x4 Lardons x2 Yaourt x4 Pain x4	Radis x4 Soupe x4 Œufs x4 Comté x4 Pain x4 Vin x2	Riz x4 Poireaux-champ x4 Chèvre x4 Pain x4 Vin x2	Crêpes x4 Jambon-œuf x2 Champ-œuf x2 Mâche x4 Yaourt x4 Pain x4 Bière x2	Lentilles x4 Saucisson x2 Comté x4 Mâche x4 Pain x4 Vin x2	Carottes x4 Couscous végété x4 Salade x4 Camenbert x2 Yaourt x2 Pain x4 Vin x2	Soupe x4 Patates Frites x4 Pain x4 Comté x4
Liste de courses correspondante							
Viande & oeufs	0,5 kg poulet + 225 gr cochon : 125 gr lardon, 40 gr jambon (2 tranches), 60 gr saucisson + 12 oeufs						
Produits laitiers	2L lait, 1kg fromage (eq 10 L lait), 10 yaourts (eq 1,2 L lait), 150 gr beurre (eq 3,3 L lait), 40 cl crème (eq 2,6 L lait) → 19,1 L lait						
Crudités	200 gr radis, 0,5 kg carotte, 600 gr (2 salade / mâche) → 1,3 kg						
Légumes	300 gr oignons, 600 gr potirons, 500 gr champignons, 50 gr navets, 0,5 kg carotte, 1,5 kg patates, 150 gr poireaux → 3,6 kg						
Fruits	800 gr clémentines, 1 kg Poires → 1,8 kg						
Céréales & féculents	350 gr céréales matin, 1,5 kg Farine, 220 gr sucre, 100 gr Farine sarrasin, 150 gr semoule, 200 gr riz, 300 gr lentilles, 800 gr pâtes, 30 gr levure boulangère, 10 gr poudre à lever → 3,6 kg						
Autres	140 mL huile, Confiture, Sel, poivre, épices, 120 gr Pistaches						

Tableau 28 : Empreinte GES pour une liste de courses d'une semaine type hors vacances pour une famille de 4 personnes (2A+2E)

Empreinte GES Alimentation - hors vacances			Emissions (kg/sem)		
	Qté/an/famille de 4	Qté/sem/famille de 4	CO2	N2O	CH4
Protéines animales	24 kg ; 12 poulets de 2kg	0,5kg	1,1	0,7	1,8
	11,5 kg Cochon	225 gr	0,6	0,5	0,5
	37,5 kg Œufs	12 œufs (720 gr)	1,5	1,0	2,5
Produits laitiers	990 Léquiv Lait	19,1 L	6,2	7,4	18,4
Légumes & céréales	255 kg légumes (68 kg crus + 187 kg cuits)	Crudités 1,3kg	0,2	0,2	
	93 kg fruits	Légumes garniture 3,6 kg	0,2	0,2	-
	187 kg céréales		1,5	1,0	-
Boissons	52 L vin +26L bières	1L vin +0,5L bière			
	11,5 kg café	220 g café moulu			
Autres		140 mL huile			
		Confiture			
		Sel, poivre, épices			
		120 gr Pistaches			
Repas à la maison		36/56	11,5	11,1	23,2
Repas en collectivités		20/56			
Total semaine hors vacances					

Tableau 29 : Menus d'une semaine d'une famille de 4 personnes (2A+2E) en « mode facteur 6 » - vacances

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Petit-déj	Pain beurre conf Café x2 Clémentines x4	Pain beurre conf Café x2 Poires x4	Pain beurre conf x4 Café x2 Lait x2 Clémentines x4	Pain beurre conf Café x2 Poires x4	Pain beurre conf Café x2 Poires x4	Pain beurre conf x4 Café x2 Lait x2 Clémentines x4	Pain beurre conf x4 Café x2 Lait x2 Poires x4
Déj	Radis x4 Quiche épinards thon x4 Crème dessert x4	Falafels x4 Riz-champ x4 Yaourt x4	Tortillas x4 Poulet x4 Légumes x4 Salade x4 Crème dessert x4	Carottes x4 Curry thail végé x4 Riz x4 Comté x4	Pâtes x4 Sardines x4 Carnembert x2 Salade x4 Yaourt x2	Carottes x4 Roti de Porc x4 Patates x4 Chèvre x4 Café x2	Pâtes x4 Pistou x4 Mâche x4 Café x2
Goûter	Cookies x2 Clémentines x4	Muffins x2 Poires x4	Pain +choc x2 Clémentines x4	Cookies x2 Poires x4	Muffins x2 Poires x4	Pain +choc x2 Clémentines x4	Pain +choc x2 Poires x4
Dîner	Carottes x4 Pâtes x4 boeuf x2 Yaourt x4 Pain x4	Radis x4 Soupe x4 Œufs x4 Comté x4 Pain x4 Vfn x2	Riz x4 Poireaux-champ x4 Chèvre x4 Pain x4 Vfn x2	Grêpes x4 Jambon-œuf x2 Champ-œuf x2 Mâche x4 Yaourt x4 Pain x4 Bière x2	Lentilles x4 Saucisson x2 Comté x4 Mâche x4 Pain x4 Vfn x2	Carottes x4 Couscous végé x4 Salade x4 Carnembert x2 Yaourt x2 Pain x4 Vfn x2	Soupe x4 Patates Frites x4 Pain x4 Comté x4
Liste de courses correspondante							
Vande & œufs	150 gr poulet +0,7 kg cochon (0,6kg roti, 40 gr jambon (2 tranches), 60 gr saucisson) +200 gr Boeuf +14 œufs +1 thon 200 gr +Sardines 200 gr						
Produits laitiers	2,8L lait, 1,2kg fromage (eq 12L lait), 16 yaourts (eq 2L lait), 250gr beurre (eq 5,5 Llait), 40 cl crème (eq 2,6 L lait) → 25 lait						
Légumes	400 gr radis, 0,8 kg carotte, 0,8 kg (3 salade / mâche) → 2 kg						
Fruits	150 gr épinards, 550 gr oignons, 800 gr potirons, 1kg champignons, 50 gr navets, 0,8 kg carotte, 1,8 kg patates, 150 gr poireaux → 5,3 kg						
Céréales & féculents	1,6 kg clémentines, 2 kg Poires → 3,6 kg						
Autres	3 kg Farine, 220 gr sucre, 100 gr Farine sarasin, 150 gr semoule, 680 gr riz, 300 gr lentilles, 1,2 kg pâtes, 260 gr pois chiches, 30 gr levure boulangère, 10 gr poudre à lever → 6 kg						
	240 mL huile, Confiture, Sel, poivre, épices, 120gr Pistaches, Agar agar						

Tableau 30 : Empreinte GES pour une liste de courses d'une semaine type de vacances pour une famille de 4 personnes (2A+2E)

5.2 Sources

Empreinte GES Alimentation - vacances			Emissions (kg/sem)		
	Qté/an/famille de 4	Qté/sem/famille de 4	CO2	N2O	CH4
Protéines animales	8 kg Poulet	0,150 kg	0,3	0,2	0,5
	36 kg Cochon	0,7 kg	1,9	1,5	1,5
	44 kg Œufs	14 œufs (840 gr)	1,8	1,1	3,0
	10 kg Bœuf	200 gr			
	21 kg Poisson	400 gr	1,1		
Produits laitiers	1.300 L équiv Lait	25 L	8,1	9,7	24,0
Légumes & céréales	375 kg légumes (100 kg crus +	Crudités 2 kg Légumes garniture 5,3 kg	0,4 0,9	0,2 0,6	- -
	187 kg fruits	3,6 kg	0,3	0,3	-
	312 kg céréales	6 kg	2,5	1,7	-
Boissons	52 L vin +26L bières	1L vin +0,5L bière			
	11,5 kg café	220 g café moulu			
Autres		140 mL huile			
		Confiture			
		Sel, poivre, épices			
		120 gr Pistaches			
Repas à la maison		56/56	17	16	29

- 1 Projet de Stratégie Nationale Bas-Carbone. La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone. Ministère de la transition écologique et solidaire. Version projet, décembre 2018.
- 2 Projet de Stratégie Nationale Bas-Carbone. La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone. Ministère de la transition écologique et solidaire. Version projet, décembre 2018.
- 3 Valeurs issues du 4ème rapport du GIEC (PRG: CO₂ = 1 ; CH₄ = 25 ; N₂O = 298 ; SF₆ = 22800 ; NF₃ = 17200 ; HFC et PFC = valeurs variables dépendantes de la composition des gaz).
- 4 UTCATF : Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terre et Foresterie. Nous faisons le choix méthodologique d'envisager l'objectif du facteur 4 sans tenir compte de l'impact de l'UTCATF. Cela signifie que nous considérons positif de protéger et développer les pratiques forestières durables mais que ces évolutions qui dépendront probablement largement de conditions climatiques indépendantes des politiques publiques locales, doivent être imputées ou bénéficier à l'ensemble de l'humanité. Ces effets ne doivent rien changer à l'impératif local de chaque nation de faire évoluer les modes de vie, en France comme au Brésil, en Indonésie, en Russie, aux Etats Unis... Pour tous ces pays, les UTCATF sont des enjeux très significatifs dans leurs bilans nationaux globaux. Nous considérons ici qu'il s'agit d'un bien collectif.
- 5 Données Citepa pour le compte du Ministère de l'Environnement. Emissions au format « Plan Climat » et au périmètre Kyoto à partir de 1990. <https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/secten>
- 6 Projet de Stratégie Nationale Bas-Carbone. La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone. Ministère de la transition écologique et solidaire. Version projet, décembre 2018.
- 7 Projet de Stratégie Nationale Bas-Carbone. La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone. Ministère de la transition écologique et solidaire. Version projet, décembre 2018.
- 8 Assemblée Nationale. Projet de Loi relatif à l'énergie et au climat. Procédure accélérée. Présenté au Nom de M. Édouard Philippe, premier ministre, par M. François de Rugy, ministre d'État, ministre de la transition écologique et solidaire.
- 9 Il s'agit d'une moyenne sur l'ensemble du trafic, pour les déplacements domicile-travail (plutôt avec 1,2 personnes à bord au quotidien), mais également avec les trajets longues distances et des remplissage plus proches de 2,5 personnes en moyenne.
- 10 Principalement selon l'origine de l'électricité qui alimente la motrice : moyenne française (84 g eqCO₂/kWh), ou moyenne européenne (293 gCO₂e/kWh).
- 11 Adam Millard-Ball, Lee Schipper. 2011. Are We Reaching Peak Travel? Trends in Passenger Transport in Eight Industrialized Countries. Transport Reviews, vol 31, N°3: 357-378. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01441647.2010.518291>
- 12 Adam Millard-Ball, Lee Schipper. 2011. Are We Reaching Peak Travel? Trends in Passenger Transport in Eight Industrialized Countries. Transport Reviews, vol 31, N°3: 357-378. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01441647.2010.518291>
- 13 Voir page 15 - <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/6817.pdf>
- 14 Les comptes des transports de la nation – depuis 1990 – Ministère de la Transition écologique et solidaire. <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-densemble/1924/874/ensemble-comptes-transports.html>
- 15 Les comptes des transports de la nation – depuis 1990 – Ministère de la Transition écologique et solidaire. <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-densemble/1924/874/ensemble-comptes-transports.html>
- 16 Les comptes des transports de la nation – depuis 1990 – Ministère de la Transition écologique et solidaire. <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-densemble/1924/874/ensemble-comptes-transports.html>
- 17 Enquête nationale transports et déplacements (ENTD) 2008. Ministère de la Transition écologique et solidaire. <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/theme/transports/sous-theme/transport-voyageurs-voyages.html>
- 18 Bilans Carbone globaux (traction, maintenance, exploitation, construction, report modal, ...) de projets ferroviaires de LGV : Rhin-Rhône, Le Mans-Rennes, Tous-Bordeaux, Nîmes – Montpellier, GPSO. Bilans Carbone globaux de programmes TER à l'échelle de plusieurs régions et localement (projet SAS, CEVA,...). Bilans Carbone globaux de transport urbain, péri urbain et départementaux (plus de 15 CG) opérant des Autocars, tramways et réseaux de bus.
- 19 Source : carlabelling.ademe.fr/chiffrescles 2020
- 20 Les comptes des transports de la nation – depuis 1990 – Ministère de la Transition écologique et solidaire. <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-densemble/1924/874/ensemble-comptes-transports.html>
- 21 Guide des facteurs d'émissions – méthode Bilan Carbone ADEME V6.1, chapitre 4 – juin 2010
- 22 Voir le résumé de l'étude sur <http://www.colas.com/FRONT/COLAS/upload/com/pdf/route-future-francais.pdf>
- 23 A raison de 5 g de CO₂ par veh.km de VP et de 400 milliards de veh.km de VP parcourus par an, cela représente un investissement de 2 millions de tCO₂ par an pour la part de travaux routiers revenant à la voiture particulière. Compte tenu du fait que les VP consomment près de 55% des carburants routiers, on considère que les VP prennent à leur charge le même ratio de travaux. L'ensemble du secteur routier pèserait alors de l'ordre de 3,6 millions de tCO₂/an. A titre indicatif, cela représente l'équivalent de la construction de 500 km à 1000 km d'autoroutes à 2 X 2 voies par an, ce qui est cohérent avec la réalité.
- 24 Il s'agit d'une moyenne sur l'ensemble du trafic, pour les déplacements domicile travail (plutôt avec 1,2 personnes à bord au quotidien), mais également avec les trajets longues distances et des remplissage plus proches de 2,5 personnes en moyenne.
- 25 Les évaluations ne sont pas simples. Les engrais azotés, l'énergie nécessaire à la distillation pour la filière alcool-essence, la déforestation liée à la filière huile de palme-diesel engendrent de son côté des émissions importantes. De bonnes pratiques sont possibles, mais les pires sont également largement mises en œuvre pour fabriquer des agro-carburants dans le monde en 2010.

26 Une voiture électrique qui consomme 25 kWh/100 km – (type Peugeot 205), avec de l'électricité européenne (300 gCO₂e/kWh) engendre 75 gCO₂e/km, c'est à peine mieux que les meilleures voitures thermiques du marché actuel. Autrement dit, puisqu'il faut produire de l'électricité, le contenu CO₂ de la voiture électrique reste trop élevé pour apporter une réponse radicalement salvatrice au problème du CO₂ des transports. D'autre part, 30 millions de voitures électriques de ce type circulant 400 milliards de veh.km (la circulation actuelle du parc de VP en France) consommeraient 100 TWh, soit la production d'environ 11 réacteurs nucléaires de type EPR (à construire ?).

27 Source : guide des facteurs d'émissions Bilan Carbone V6, ADEME

28 Il s'agit d'une moyenne sur l'ensemble du trafic, pour les déplacements domicile travail (plutôt avec 1,2 personnes à bord au quotidien), mais également avec les trajets longues distances et des remplissage plus proches de 2,5 personnes en moyenne.

29 Étude Objectif Carbone. On considère ici que les unités simples (US) consomment 25 kWh/km en exploitation LGV et que les unités multiples (UM, rames doubles) consomment 35 kWh/km, et qu'en moyenne on a un mélange équilibré des 2 types de composition.

30 Là également, il s'agit d'un mélange équilibré de rames standards US (370 places), rames DUPLEXE en US (545 places) et des mêmes rames en unité multiple, soit 686 places en moyenne.

31 Etude Objectif Carbone.

32 Principalement selon l'origine de l'électricité qui alimente la motrice : moyenne française (84 g eqCO₂/kWh), ou moyenne européenne (293 g eqCO₂/kWh).

33 Etude Objectif Carbone.

34 Selon l'électricité choisie – Française (90 g de CO₂/kWh) ou européenne (300 g de CO₂/kWh)

35 Selon qu'on prend de l'électricité France 2010 ou EU27 2010.

36 Cette valeur intègre 20% de « frais généraux carbone » au-delà du carburant pour intégrer l'amortissement du matériel, ...

37 Source : étude Objectif Carbone sur les travaux du tramway T2 de de NCA - Nice

38 Pour le 56%, voir le dossier de presse du 3 juin 2009 présentant la feuille de route vers le facteur 4 – page 5 du document pdf :

http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/spipwwwmedad/pdf/Dossier_de_presse_-_2Jun09-2_cle543e9c.pdf

et pour le 50%, voir sur <http://www.plan-batiment.legrenelle-environnement.fr/index.php/g-presentation-du-plan/objectifs>

39 <http://www.decretparcexistant.fr/>

40 8 étages en Suède : <http://www.lemoniteur.fr/181-innovation-chantiers/article/solutions-techniques/698881-immeubles-de-8-etages-en-bois-un-concept-de-logement-social-en-suede>

9 étages à Londres : <http://www.dezeen.com/2007/06/17/3221/>

41 Étude Objectif Carbone pour l'ADEME

42 Valeur standard

43 Valeur standard

44 L'électricité européenne triple le CO₂ d'origine « électrique » par rapport à la fourniture française.

45 Le Biogaz doit être largement développé, mais en priorité absolu pour remplacer le gaz quand les alternatives aux fossiles sont délicates : voiture au gaz, industrie sidérurgique, etc...

46 Valeur standard en 2010

47 Valeur standard en 2010

48 L'électricité européenne triple le CO₂ d'origine « électrique » par rapport à la fourniture française.

49 <http://www.fao.org/faostat/fr/#compare>

50 https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/mtdocs/pdfiles/1805_Geneva/07_Keith_Shine.pdf

51 ATTENTION : Cette valeur pose problème. Une erreur existe soit dans l'évaluation de la part de N₂O dans les repas des cantines scolaires, soit dans l'évaluation du quota individuel. En effet, le français moyen se nourrirait presque déjà de manière compatible N₂O – 2050, mais la France produirait 4 fois trop de N₂O. Le biais pourrait également provenir d'une forte dissociation entre consommation nationale et production nationale.

52 Idem que la note précédente, mais dans une moindre mesure.

53 Voir la page 914 du PDF du rapport National des émissions 2007 pour la France transmis à la CCNUCC. Téléchargeable sur <http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm#inv4>

54 <https://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/trs916/summary/fr/>

55 Voir le guide des Facteur d'émissions de la version 6 du Bilan Carbone / veau en année 1, génisse en année 2

56 Voir la page 914 du PDF du rapport National des émissions 2007 pour la France transmis à la CCNUCC. Téléchargeable sur <http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm#inv4>

- 57 Voir la page 914 du PDF du rapport National des émissions 2007 pour la France transmis à la CCNUCC. Téléchargeable sur <http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm#inv4>
- 58 Voir la page 914 du PDF du rapport National des émissions 2007 pour la France transmis à la CCNUCC. Téléchargeable sur <http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm#inv4>
- 59 Voir la page 914 du PDF du rapport National des émissions 2007 pour la France transmis à la CCNUCC. Téléchargeable sur <http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm#inv4>
- 60 Production totale de 77 Mt d'après AGREST 2010 – l'ordre de grandeur est conservé.
- 61 Voir la page 914 du PDF du rapport National des émissions 2007 pour la France transmis à la CCNUCC. Téléchargeable sur <http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm#inv4>
- 62 AGREST 2010
- 63 CITEPA
- 64 Source Inventaire national format CCNUCC 2019 interprété par Objectif Carbone.
- 65 Source Agrest
- 66 <http://www.office-elevage.fr/doctech-07/jp-kor-0107/filiere-jap.pdf>
- 67 http://www.hubrural.org/pdf/ofival_conso_viandes_monde.pdf
- 68 <https://www.footprintnetwork.org/> - <https://www.goodplanet.org> - <http://avenirclimatique.org/>
- 69 [Carbone 4 – les émissions du SCOPE 3](#)
- 70 Rapport ADEME. Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et bien d'équipement. Sept 2018.
- 71 Rapport ADEME. Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et bien d'équipement. Sept 2018. Rapport complet page 53
- 72 Rapport ADEME. Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et bien d'équipement. Sept 2018. Rapport complet page 53
- 73 Rapport ADEME. Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et bien d'équipement. Sept 2018. Rapport complet page 53
- 74 Rapport ADEME. Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et bien d'équipement. Sept 2018. Synthèse Page 5.
- 75 Rapport ADEME. Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et bien d'équipement. Sept 2018. Synthèse Page 5
- 76 Rapport ADEME. Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et bien d'équipement. Sept 2018. Synthèse Page 10.
- 77 Les facteurs d'émissions monétaires, Base Carbone ADEME, scope 3 - achat de services - ratios monétaires, <http://www.bilans-ges.ademe.fr/>
- 78 <https://selectra.info/energie/guides/environnement/empreinte-carbone>



16 avenue du Drapeau - 92 700 Colombes

info@objectifcarbone.org

www.objectifcarbone.org