

## **Empreinte carbone et environnementale du vin en France : chiffres d'impact et bonnes pratiques à mettre en œuvre**

### **Carbon and environmental footprint of wine in France: impact figures and good practices to implement**

Emilie Adoir<sup>1</sup>, Hugo Luzi<sup>1</sup>, Sophie Penavayre<sup>1</sup> et Valérie Lempereur<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Français de la Vigne et du Vin, Domaine de l'Espiguette, 30240 Le Grau-du-Roi, France

**Résumé.** L'ordre de grandeur de l'empreinte carbone du vin en France sur tout son cycle de vie est de 1 kg à 1,5 kg CO<sub>2</sub>eq/L de vin. A l'échelle de la filière française, cette empreinte carbone est généralement structurée de la manière suivante : conditionnement pour 40% à 50% des émissions (fabrication des matières, notamment de la bouteille), viticulture pour 15% à 20% (consommation de carburant et fabrication des engrais), distribution pour 15% à 20% (carburant) et vinification à hauteur de 10% environ (consommation d'électricité). Des bonnes pratiques permettant de réduire l'empreinte carbone du secteur vitivinicole sont identifiées et chiffrées par l'IFV pour chacune des 4 étapes. Conditionnement : bouteilles en verre allégé et en verre recyclé, modes de conditionnement alternatifs à la bouteille en verre (outre à vin, canette, bouteille en PET). Viticulture : fertilisation organique, diminution de la consommation de carburant (réglages, densités de plantation, organisation du travail, traction électrique ou animale...), modes de palissage, enherbement, retour au sol des sarments, plantation de haies. Distribution : transport ferroviaire et maritime, réemploi de la bouteille en verre. Vinification : fluides frigorifiques, isolation thermique des bâtiments et cuves...L'empreinte carbone quantifie la contribution au changement climatique mais elle ne permet pas d'embrasser la diversité des impacts environnementaux. La méthode l'Analyse de Cycle de Vie est une méthode plus complète qui permet d'intégrer d'autres indicateurs comme les émissions de particules fines dans l'air, l'eutrophisation des eaux, l'écotoxicité de l'eau douce, la consommation d'eau, etc.

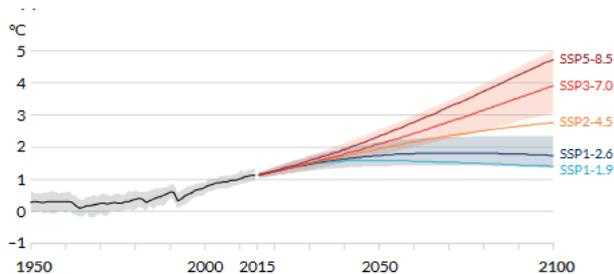
**Abstract.** The order of magnitude of the carbon footprint of wine in France over its entire life cycle is 1 kg to 1.5 kg CO<sub>2</sub>e/L of wine. On the scale of the French sector, this carbon footprint is generally structured as follows: packaging from 40% to 50% of emissions (manufacture of materials and in particular the bottle), viticulture from 15% to 20% (consumption of fuel and fertilizer manufacturing), distribution from 15% to 20% (fuel) and winemaking for approximately 10% (electricity consumption). Good practices to reduce the carbon footprint of the wine sector are identified and quantified by IFV for each of the 4 stages. Packaging: lightweight glass and recycled glass bottles, alternative packaging methods to glass bottles (wine skins, cans, PET bottles). Viticulture: organic fertilization, reduction in fuel consumption (adjustments, planting densities, organization of work, electric or animal traction, etc.), trellising methods, grassing, return of the branches to the ground, planting of hedges. Distribution: rail and sea transport, reuse of glass bottles. Winemaking: refrigerating fluids, thermal insulation of buildings and vats...The carbon footprint quantifies the contribution to climate change but it does not allow us to encompass the diversity of environmental impacts. The Life Cycle Analysis method is a more complete method which makes it possible to integrate other indicators such as the emission of fine particles into the air, the eutrophication of water, the ecotoxicity of fresh water, water consumption, etc.

## 1. Contexte : l'ambition de la neutralité carbone en 2050

### 1.1. Les scénarios du GIEC et les objectifs internationaux

Il est maintenant acquis que l'augmentation des concentrations en Gaz à Effet de Serre (GES) dans l'atmosphère due aux activités humaines a comme conséquence l'augmentation de la température moyenne de l'atmosphère, du fait de leurs propriétés intrinsèques à capter les rayonnements infrarouges renvoyés par la Terre vers l'Univers.

Sur la base des observations passées, le Groupement d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat de l'ONU (le GIEC) a publié en août 2021 une mise à jour des différents scénarios possibles d'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> (Figure 1), et les résultats attendus en termes d'évolution de la température de l'atmosphère pour chacun de ces scénarios [1].



**Figure 1.** Changement de la température à la surface du globe par rapport à 1850-1900, en fonction des scénarios d'évolution de la concentration en GES dans l'atmosphère - GIEC, 2021.

Les deux scénarios SSP3 et SSP5 représentent des trajectoires socio-économiques donnant peu de priorité à la protection de l'environnement, respectivement soit du fait de la persistance des inégalités et des conflits, soit du fait d'un modèle de société fortement basé sur les énergies fossiles. Ils engendrent une poursuite de l'augmentation des émissions annuelles de CO<sub>2</sub> et une tendance exponentielle de la température dans l'atmosphère dans les 80 prochaines années (respectivement une moyenne de +4 et +5°C en 2100 par rapport à l'ère pré-industrielle).

Le scénario SSP 2 représente une trajectoire socio-économique des tendances actuelles, avec des institutions nationales et internationales qui œuvrent lentement à la réalisation d'objectifs de développement durable. L'inertie des actions en faveur de la décarbonation entraînerait une baisse des émissions de CO<sub>2</sub> seulement à partir de 2050, et donc une très légère inflexion de la température (+2,8°C en moyenne en 2100 par rapport à l'ère pré-industrielle).

Seuls les deux scénarios SSP1 permettent d'atteindre l'objectif minimal des Accords de Paris signés lors de la COP 21 en 2015, qui est de rester bien en-dessous des +2°C après 2050. Ces deux scénarios prévoient une réduction rapide des émissions de CO<sub>2</sub> dès 2025, grâce à la forte coopération internationale, la priorité donnée au développement durable et les choix responsables des

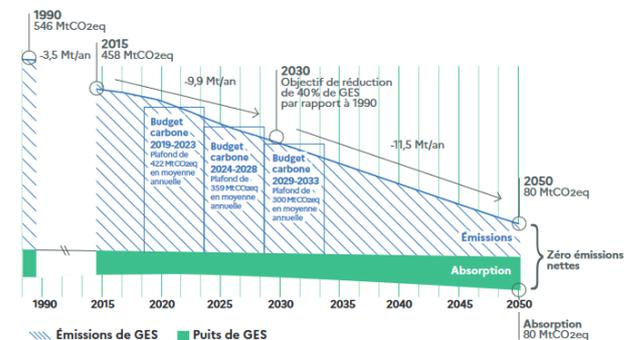
consommateurs. Ainsi, les Accords de Paris, basés sur des scénarios climatiques antérieurs à ceux présentés ici, ont préconisé d'atteindre à minima la neutralité carbone à l'échelle mondiale d'ici la seconde moitié du siècle pour atteindre l'objectif principal.

### 1.2. En France, la Stratégie Nationale Bas Carbone

Dans ce contexte, les pouvoirs publics français ont publié en novembre 2019 la 2<sup>ème</sup> Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), suivis de près par l'Europe qui a lancé son Green Deal en décembre 2019. Cette 2<sup>ème</sup> SNBC fixe des objectifs ambitieux : atteindre la neutralité carbone de la France d'ici 2050 tout en réduisant l'empreinte carbone des Français, à travers les produits importés [2].

L'objectif de neutralité carbone en 2050 induit nécessairement d'avoir autant de captation annuelle de carbone (de manière naturelle et/ou technologique) que d'émissions annuelles de GES à l'échelle nationale à partir de 2050. Pour atteindre ces objectifs, la trajectoire visée est (Figure 2) :

- la réduction de 40% des émissions de GES d'ici 2030 par rapport à 1990 ;
- la réduction de 84% des émissions de GES d'ici 2050 par rapport à 1990 ;
- l'augmentation de 50% des puits de carbone (sols, biomasse, puits technologiques) d'ici 2050 par rapport à 2019.



**Figure 2.** Trajectoire des émissions et captation de carbone en France visée par la SNBC pour atteindre la neutralité carbone en 2050 (d'après Ministère de la Transition Ecologique).

En valeur absolue, ces objectifs se traduisent par une réduction drastique des émissions de GES (-378 Mt CO<sub>2</sub>eq/an), et une faible augmentation de la captation annuelle de carbone (environ 40 Mt CO<sub>2</sub>eq/an) sur la période 2015-2050.

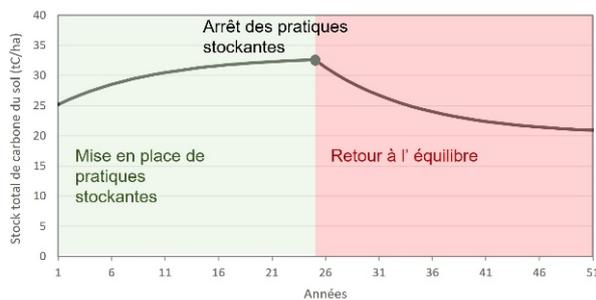
### 1.3. Le stockage de carbone dans les sols, un levier d'atténuation nécessaire mais pas suffisant

Ce scénario repose sur un principe fondamental : il est nécessaire de réduire au maximum ses émissions et de ne pas seulement miser sur une « compensation » par la captation du carbone.

En effet, la captation naturelle du carbone biogénique dans les sols, la biomasse et les produits biosourcés est

réversible (Figure 3) : si les pratiques agricoles « stockantes » sont abandonnées, le sol va déstocker progressivement ce qu'il avait commencé à stocker par minéralisation de la matière organique. De même, si des produits biosourcés ou des gisements de biomasse sont brûlés (souches, produits en bois, constructions intégrant de la paille...), le CO<sub>2</sub> stocké repart dans l'atmosphère et le bénéfice du stockage pour le climat sera plus faible.

En plus de cette réversibilité, le potentiel de stockage de carbone additionnel dans les sols agricoles français a été chiffré lors d'une expertise collective INRAE dite « étude 4 pour mille » [3] et s'avère limité. La mise en œuvre des principales pratiques stockantes par culture sur l'ensemble des surfaces agricoles françaises - à climat, concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et occupation du sol constants - ne permettrait de stocker que 29,9 Mt CO<sub>2</sub>eq/an en plus, soit 6,5% des émissions nationales et 39% des émissions agricoles en 2016. Cela représenterait un stockage additionnel annuel de +1,8 ‰/an alors que c'est une augmentation de +4 ‰/an qui est nécessaire à l'échelle du globe pour atteindre la neutralité carbone mondiale (+3,4 ‰/an pour atteindre la neutralité carbone française sans réduire les émissions).



**Figure 3.** Dynamique d'évolution d'un stock de carbone du sol avec mise en place puis arrêt des pratiques stockantes (simulation AMG par IFV, non publié).

## 2. Méthode : le calcul de l'empreinte carbone

L'empreinte carbone est une méthodologie de comptabilisation des émissions de GES d'une activité, d'un territoire, d'une entreprise, d'un service ou d'un produit. Elle comptabilise à la fois les émissions directes et les émissions indirectes.

Les émissions directes sont émises « directement » par l'activité que l'on étudie. Par exemple, si l'on étudie une exploitation vitivinicole, les GES émis par la combustion du carburant sont des émissions directes, elles ont lieu directement sur l'exploitation. Les émissions indirectes sont émises par l'amont et l'aval de l'activité. Par exemple, les émissions indirectes du carburant sont des émissions liées à son extraction et son raffinage. Sur une exploitation vitivinicole en général, les émissions indirectes sont les émissions liées à la fabrication et au transport des intrants (engrais, phytosanitaires, matières sèches) et au transport du produit fini.

Le fait de comptabiliser les émissions indirectes permet de prendre en compte l'ensemble des conséquences d'une activité sur le système climatique. En prenant en compte

tout le cycle de vie dans la comptabilisation des GES, on évite ainsi les transferts de pollution qui consisteraient par exemple à réduire les émissions directes mais en augmentant les émissions indirectes, par exemple en faisant de la sous-traitance ou en déplacement les pollutions en amont ou en aval de la chaîne de valeur.

### 2.1. Les différents Gaz à Effet de Serre

Les différents gaz à effet de serre que l'on comptabilise n'ont pas tous le même effet sur le changement climatique.

L'effet de serre consiste à l'absorption, par des gaz atmosphériques, du rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre. C'est cette absorption qui provoque une agitation moléculaire et donc une élévation de température de l'atmosphère. Le pouvoir réchauffant des gaz provient donc de leur capacité ou non à absorber le rayonnement infrarouge, ainsi que de leur durée de vie dans l'atmosphère. Ces deux facteurs sont exprimés par leur Potentiel de Réchauffement Global (PRG) à 100 ans. Le PRG à 100 ans traduit le pouvoir réchauffant sur une durée de 100 ans d'un gaz émis dans l'atmosphère. Le PRG est construit comme un étalon où le CO<sub>2</sub> prend la valeur de 1.

Ainsi, les principaux GES que l'on va retrouver dans l'empreinte carbone vitivinicole sont : le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) (PRG = 1), le dioxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) (PRG = 273) et le méthane (CH<sub>4</sub>) (PRG = 28).

Le N<sub>2</sub>O provient notamment de l'application d'engrais azotés au champ, de la dégradation et du compostage de matière organique fraîche, et de la combustion de biomasse et de carburant. Le CH<sub>4</sub> provient de la fermentation entérique (ruminants), de la dégradation de la biomasse (notamment anaérobie) et de la combustion de biomasse ou de carburant. Concernant le CO<sub>2</sub>, il convient de distinguer le CO<sub>2</sub> fossile du CO<sub>2</sub> biogénique.

Le CO<sub>2</sub> fossile : son principal mode d'émission est la combustion d'hydrocarbures (carburant, gaz, charbon, etc.). On le retrouve donc à toutes les étapes du cycle de vie du vin qui nécessitent de l'énergie thermique (carburant du tracteur, chauffage au gaz en cave, fabrication des bouteilles). Il est toujours comptabilisé car, provenant de stocks de carbone souterrains âgés de plusieurs milliards d'années, son rejet dans l'atmosphère provoque un accroissement de sa concentration dans l'atmosphère, donc une augmentation de l'effet de serre.

Le CO<sub>2</sub> biogénique (c'est-à-dire les flux de CO<sub>2</sub> liés à la photosynthèse, à la respiration et à la fermentation) : il peut être comptabilisé, avec une notion de durée du cycle à prendre en compte. Lorsqu'il s'agit de CO<sub>2</sub> biogénique à cycle court (photosynthèse, stockage sous forme de sucre dans les raisins, puis dégagement lors de la fermentation alcoolique), il n'est généralement pas comptabilisé car considéré comme à l'équilibre sur une campagne. La même quantité de CO<sub>2</sub> capturée pendant la période végétative est relarguée pendant la fermentation. Lorsqu'il s'agit de CO<sub>2</sub> biogénique à cycle moyen ou long (variation de stock de carbone dans les haies, dans les sols, dans les arbres et les ceps de vigne), on peut le comptabiliser en considérant que du carbone est immobilisé suffisamment

longtemps dans le compartiment sol ou biomasse (>20 ans).

## 2.2. Modélisation de la variation de stock de carbone dans les sols : le modèle AMG

AMG, est un modèle de bilan humique, élaboré par l'INRAE et utilisé initialement en grandes cultures [4]. Il permet d'estimer sur le long terme l'évolution du stock de carbone d'une parcelle en fonction des pratiques (Figure 4). Il a été paramétré pour la viticulture dans le cadre du projet OAD MO, financé par France-Agrimer, son adaptation à la vigne a été réalisée à partir de données d'expérimentations (INRAE, IFV, CA84 + AgroTransfert Ressources et Territoires, non publié).

Ce modèle comptabilise les entrées de carbone annuelles liées aux résidus de culture (sarments, feuilles) à l'enherbement, aux engrais et amendements organiques ainsi que les sorties par minéralisation. La minéralisation dépend de paramètres pédoclimatiques. Si les entrées sont supérieures à la minéralisation, alors le sol séquestre du carbone. Si les entrées sont inférieures à la minéralisation, alors le sol déstocke du carbone.

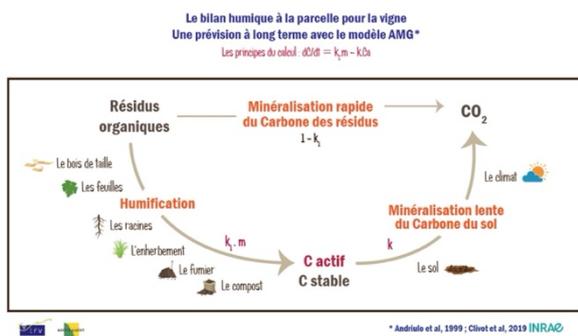


Figure 4. Fonctionnement du modèle de bilan humique AMG.

## 2.3. Peut-on être « neutre en carbone » ?

Les termes « séquestration », « stockage de carbone », voire « compensation » sont souvent utilisés de manière équivalente, jusqu'à parler de « neutralité carbone d'une entreprise ou d'un produit », voire même « d'empreinte carbone négative ». Néanmoins, il convient de préciser que la comptabilisation des émissions évitées par le stockage de carbone dans une empreinte carbone nette et les allégations employées sont regardées de près.

Tout d'abord, les normes ISO 14064 et ISO 14067 encadrant le calcul de l'empreinte carbone pour des entreprises et des produits demandent de comptabiliser le stockage de carbone séparément des émissions. Il est possible de calculer une empreinte carbone nette (émissions – stockage), mais en rendant transparent le terme considéré pour le stockage de carbone, afin de ne pas induire de mauvaise interprétation. Une nouvelle norme ISO 14068 a été récemment publiée en novembre 2023 spécifiquement sur la démonstration de la neutralité carbone.

De plus, depuis le 1er janvier 2023 (décret n°2022-538), suite à la loi Climat et Résilience (2021) [5], il est interdit pour un annonceur d'affirmer dans une publicité ou d'apposer sur les emballages qu'un produit ou service est « neutre en carbone », à moins qu'il ne présente dans un rapport de synthèse publié sur son site de communication au public en ligne : le bilan des émissions de GES du produit ou service sur l'ensemble de son cycle de vie, la trajectoire de réduction prévue de ces émissions ainsi que les modalités de compensation des émissions résiduelles.

Ces éléments ont été intégrés dans le Code de l'environnement français (articles L. 229-68, L.229-69 et D. 229-106 à 109). Le projet de Directive européenne Green Claims en cours (votée au Parlement européen le 12/03/2024) semble retenir la même approche sur l'allégation « neutre en carbone ».

D'une part, l'objectif de neutralité carbone ne peut s'appliquer à l'échelle d'une entreprise, ou même d'une filière, mais seulement au niveau international, européen et national (SNBC pour la France). En effet, en fonction des différents secteurs économiques et du positionnement sur la chaîne de valeur, les entreprises ont des niveaux d'émissions et des potentiels de séquestration du carbone très différents. Ce qui compte n'est donc pas la valeur absolue de son empreinte carbone, mais sa trajectoire de réduction de l'empreinte carbone contribuant à l'effort international de lutte contre le changement climatique.

D'autre part, les risques d'une telle allégation sont le greenwashing, l'impossibilité de différencier les démarches de réduction forte des émissions des démarches d'achats massifs de crédits carbone à bas coût et potentiellement peu pertinents d'un point de vue du développement durable global, et l'invisibilisation des émissions engendrées par un produit ou un service, ce qui peut suggérer qu'il est possible de lutter efficacement contre le changement climatique sans réduire fortement les émissions et sans changer les comportements individuels et collectifs.

Ainsi, même s'il est à ce jour légalement possible pour une entreprise ou une filière de communiquer sur la "neutralité carbone" de ses produits sous réserve des conditions citées précédemment, l'ADEME recommande de privilégier les allégations "engagé(e) pour la neutralité carbone collective" ou "met en œuvre une démarche de neutralité carbone", moins ambiguës.

## 3. L'empreinte carbone de la filière vin en France

En général on observe une structuration de l'empreinte de cette façon (Figure 5) : conditionnement 40% à 50% des émissions, viticulture 15% à 20%, transport 15% à 20%, vinification environ 10% (IFV, non publié).

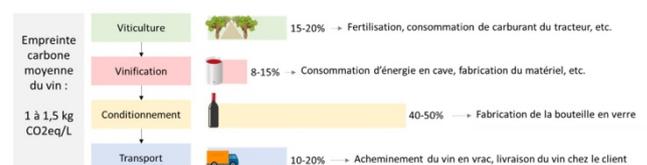


Figure 5. Répartition de l'empreinte carbone du vin par grande étape du cycle de vie.

Dans le conditionnement on inclue ici la fabrication des matières sèches (émissions indirectes) et notamment de la bouteille qui constitue en fait le plus gros de l'impact. Dans la viticulture on a la consommation de carburant et la fabrication des engrais, dans le transport on a le carburant et dans la vinification majoritairement de la consommation d'électricité (peu carbonée en France). On peut relever ici la part relativement modeste occupée par le transport, y compris avec de l'export. L'ordre de grandeur de l'empreinte carbone du vin sur tout son cycle de vie (du raisin au rayon) est de 1 kg à 1,5 kg CO<sub>2</sub>eq/L de vin.

Pour l'instant, il n'existe pas de moyenne nationale stabilisée. Les chiffres avancés sont une compilation de différentes études menées sur différents vignobles par l'IFV. On retrouve cette même structuration et ces mêmes ordres de grandeur dans la bibliographie.

L'empreinte carbone de la France a été estimée en 2019 à 791 Mt de CO<sub>2</sub>e [6]. En prenant la référence actuelle d'une bouteille de vin Agribalyse et la production française de bouteilles de vin en 2019, on en conclut que l'empreinte carbone de la filière vin (jusqu'au consommateur) représente 0,7 % de l'empreinte carbone française. Il est difficile d'obtenir, à partir des statistiques disponibles, la part de l'empreinte carbone de la viticulture dans l'empreinte carbone du secteur agricole, mais on peut estimer que sur les seules émissions directes, la viticulture représente 0,9% des émissions agricoles [7, 8].

Ces parts sont faibles, et sont notamment dues à la faible surface agricole utile de la viticulture en France, d'environ 3% [9, 10], ainsi qu'une empreinte carbone plus faible à l'hectare pour le raisin de cuve que pour les autres produits agricoles, notamment du fait d'une moindre fertilisation azotée.

#### 4. Comment réduire l'empreinte carbone du vin ?

##### 4.1. Réduire l'empreinte carbone à la vigne

La partie agricole est la deuxième grande étape du cycle de vie du vin la plus émettrice (Figure 6). Elle représente 15 à 20% de l'empreinte carbone. L'ordre de grandeur à retenir pour des valeurs d'empreinte carbone viticole est de l'ordre de 1t à 3t de CO<sub>2</sub>e/ha/an.

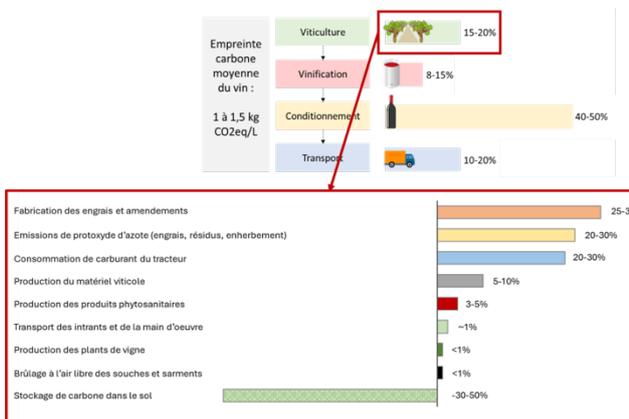


Figure 6. Détail de l'empreinte carbone viticole.

Pour sélectionner les leviers de réduction intéressants il faut déjà comprendre comment est structurée l'empreinte carbone viticole.

Les grands postes contributeurs à l'empreinte carbone viticole sont : la fabrication des engrais organiques et minéraux (env. 30%), les émissions directes de N<sub>2</sub>O des engrais et résidus végétaux (env. 25%), le carburant du tracteur (env. 25%), la fabrication des piquets de palissage (env. 10%), la fabrication outils, tracteurs, des phytos et le transport des intrants et de la main d'œuvre (env. 10%). La captation de carbone dans le sol dépend de la quantité de carbone apportée au sol annuellement par les pratiques viticoles (enherbement, couverts végétaux, retour des sarments, fertilisation et amendement organique). Cette captation de carbone permet, généralement de compenser jusqu'à 50% des émissions.

Au-delà de cette photographie, il existe de nombreuses variantes de pratiques qui n'ont pas toutes les mêmes impacts.

##### 4.1.1. Optimisation des unités d'azote et substitution azote minéral/organique

La fertilisation pèse de façon assez importante dans l'empreinte carbone viticole, à la fois du fait des émissions indirectes (fabrication des engrais minéraux et organiques), et des émissions directes de protoxyde d'azote (GES à haut PRG). Une réduction de la quantité d'engrais azotée appliquée, qu'il soit organique ou minéral, aura donc un effet sur l'empreinte carbone.

Ainsi, par exemple, chaque unité d'azote minéral non utilisée entraîne une réduction de l'empreinte carbone de 12 kg CO<sub>2</sub>e [11]. Réduire de 10 unités d'azote minéral sur une parcelle produisant 50 hl/ha entraînera une réduction de 24 gCO<sub>2</sub>e/ litre de vin.

Qu'en est-il de la substitution d'azote minéral par de l'azote organique ? Pour répondre question, on doit analyser l'impact carbone de la fertilisation par ses trois aspects : émissions indirectes, émissions directes et capture de carbone dans le sol.

Pour une même quantité d'azote appliquée, les émissions de protoxyde d'azote sont réduites pour une fertilisation organique par rapport à une fertilisation minérale.

La fertilisation organique, surtout à base de compost de fumier, permet également une augmentation du stock de carbone dans le sol, ce qui lui confère un avantage intéressant par rapport à de la fertilisation minérale.

Pour les émissions indirectes en revanche, le bilan est nuancé. Du fait du processus de compostage, émetteur de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O (GES à hauts PRG), la fabrication des composts et de certains engrais organiques peut peser de façon assez importante sur le bilan, d'autant plus que les quantités appliquées sont parfois conséquentes.

Le passage d'une fertilisation minérale à une fertilisation organique n'entraîne donc pas systématiquement une réduction de l'empreinte carbone malgré des avantages

agronomiques. Cela ne veut pas dire que cela n'est pas une pratique intéressante mais que l'on doit être prudent en affirmant qu'il s'agit toujours d'une pratique d'atténuation.

#### 4.1.2. Sur la consommation de carburant

La consommation de carburant représente env. 25% des émissions de la viticulture. Par conséquent toute action de réduction de cette consommation aura un effet sur l'empreinte carbone. Ainsi chaque litre de Gasoil Non Routier (GNR) économisé entraîne une réduction de l'empreinte carbone de 3,14 kg CO<sub>2</sub>e (d'après la Base Empreinte®) [12] : si l'on réduit de 10% une consommation annuelle de 200 l/ha/an de GNR pour un rendement de 50 hl/an, on obtient une réduction de 12 gCO<sub>2</sub>e/ litre de vin.

Un premier niveau de réduction de la consommation de carburant est d'optimiser cette consommation de GNR, en cumulant toute une série de leviers. Si le minimalisme en termes de matériel, de puissance (des tracteurs et outils) et de nombre de passages (par le raisonnement des interventions, le couplage d'outils mais aussi par la plantation de variétés résistantes) reste le plus évident, on pourra également citer :

- l'effet de l'utilisation de ces matériels (réglage des outils, profondeur de travail du sol, écoconduite et manœuvres en bout de rang) ;
- la maîtrise du débit de chantier (par la densité de plantation, le nombre de rangs gérés par le matériel, l'organisation du travail, la vitesse d'avancement) ;
- la réduction des distances des parcelles par rapport au lieu de stockage du matériel.

#### 4.1.3. Modes de palissage

Concernant les matériaux de palissage, une utilisation de piquets bois plutôt que piquets aciers permet de réduire l'empreinte d'environ 100 kg CO<sub>2</sub>e/ha/an (chiffre variable, dépend de la provenance du bois, du poids et du nombre de piquets à l'hectare).

#### 4.1.4. Enherbement

L'étude MOSGA menée en 2019-2022 a permis de comparer l'empreinte carbone de différents modes d'entretien du sol [13].

L'étude montrait les résultats suivants :

- le passage du désherbage chimique à du désherbage mécanique ou de la tonte entraîne une augmentation des émissions de GES de façon assez logique (augmentation de la consommation de carburant par augmentation du nombre de passage et de la puissance mécanique nécessaire) ;
- en prenant en compte l'évolution du stock de carbone dans le sol, la mise en place de couverts végétaux ou l'enherbement permet « d'annuler » l'augmentation des émissions.

Par rapport à un désherbage mécanique de l'inter-rang, un enherbement de l'inter-rang réduit l'empreinte carbone de 300 kg CO<sub>2</sub>e/ha/an.

#### 4.1.5. Retour au sol des sarments

Même avec un passage de tracteur supplémentaire pour le broyage, le retour au sol des sarments présente une empreinte carbone réduite par rapport à du brûlage, majoritairement du fait du stockage de carbone associé. Le gain environnemental associé à ce changement de pratique est de l'ordre de 400 kg CO<sub>2</sub>e/ha/an [13]. A noter que ce changement de pratique induit aussi une réduction drastique des émissions de particules fines.

#### 4.1.6. Haies

L'implantation de haies permet également de réduire l'empreinte carbone viticole par augmentation du stock de carbone dans le sol et la biomasse. La méthode Carbocage construite par la CA Pays de la Loire fournit des facteurs d'émission associés à l'implantation de différents types de haies [14]. La valeur de réduction de l'empreinte carbone attendue est de 300 à 1000 kg CO<sub>2</sub>e/ 100mètres linéaires /an en fonction de l'âge, du type de haies, et de la valorisation énergétique ou non de la biomasse.

A noter que, comme il s'agit de stockage de carbone dans le sol et la biomasse, ce stockage est réversible et annulé en cas d'arrachage de la haie.

## 4.2. Réduire l'empreinte carbone au chai de vinification

L'empreinte carbone des activités de cave se compose majoritairement (Figure 7) de la fabrication du matériel (surtout de la cuverie, avec des variations importantes en fonction du type de cuve, de leur volume et de leur durée de vie) (env. 30%) et de la consommation d'énergie (électricité majoritaire dans l'exemple, avec un peu de gaz) (env. 30%).

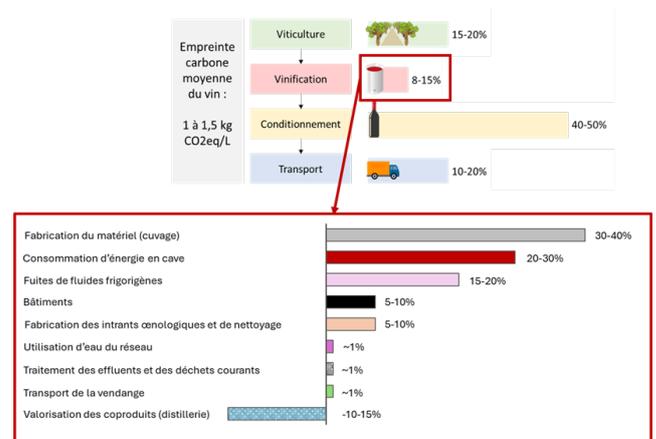


Figure 7. Détaillé de l'empreinte carbone de la vinification-élevage.

On rappelle ici que les rejets de CO<sub>2</sub> fermentaires ne sont pas comptabilisés ici car il ne s'agit que d'une restitution du CO<sub>2</sub> capté par la photosynthèse lors de la période végétative de la vigne quelques mois auparavant. La

récupération de CO<sub>2</sub> fermentaire peut s'avérer une pratique intéressante, mais pour la prendre en compte dans le calcul de l'empreinte carbone, il convient de s'interroger sur son devenir après captation. Si ce CO<sub>2</sub> est utilisé en interne pour par exemple l'inertage des cuves, c'est intéressant d'un point de vue économie circulaire car on se passe d'un intrant (le CO<sub>2</sub> issu de l'industrie pétrolière). En revanche, il repart tout de même bien dans l'atmosphère après utilisation.

Sur le plan de l'empreinte carbone énergétique, les installations électriques sont plus performantes que les installations fonctionnant à l'énergie thermique car l'électricité en France est peu carbonée.

A propos des groupes de froid, un point de vigilance concerne les gaz frigorigènes utilisés. Les gaz frigorigènes de première génération (CFC, HCFC) étaient fortement contributeurs à la destruction de la couche d'ozone. Leur utilisation a été régulée par le protocole de Montréal (1987) qui a réussi à stopper le phénomène. Ils ont été remplacés par les HFC qui ne contribuent plus à détruire la couche d'ozone mais qui sont extrêmement réchauffant (très haut PRG). Parmi ces HFC, on pourra citer le R410A (PRG>2800) et le R32 (PRG>500). La réglementation européenne régule de plus en plus l'utilisation de ces gaz pour se tourner vers des solutions moins contributrices au changement climatique, comme les HFO ou l'ammoniac. C'est pour ces raisons que le poste « fuites de gaz frigorigènes » représente une part non négligeable des impacts sur le poste de vinification. La nature du fluide frigorigène est donc un choix technique influençant l'empreinte carbone, surtout si les itinéraires de vinification pratiqués nécessitent une grande puissance frigorifique.

En termes de leviers de réduction de la consommation énergétique, l'isolation des bâtiments, voire des cuves peuvent s'avérer intéressantes.

#### 4.3. Réduire l'empreinte carbone du conditionnement

Le conditionnement (dont la fabrication des matières sèches) représente 40 à 50% de l'empreinte du vin (Figure 8).

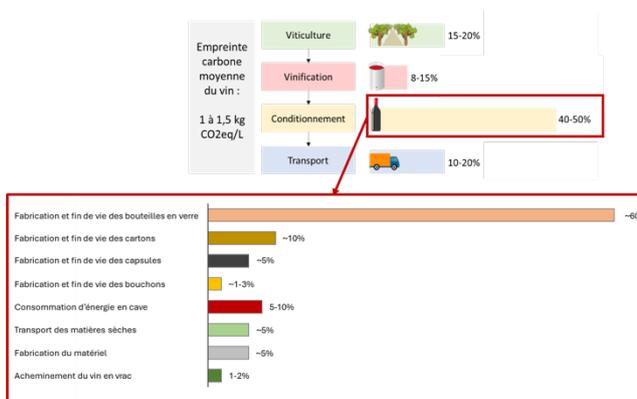


Figure 8. Détail de l'empreinte carbone du conditionnement.

Comme indiqué précédemment, c'est la bouteille en verre qui représente la majorité des impacts dans cette

catégorie « conditionnement ». Sur tout le cycle de vie du vin, c'est l'intrant le plus impactant. Pour les matières sèches, vient ensuite le carton, puis le bouchon et la capsule (lié à la masse de l'élément). Cette répartition correspond à un échantillon majoritairement composé de conditionnement en bouteilles en verre mais il existe des différences d'impact importantes selon le type de conditionnement choisi.

Plusieurs études ont déjà montré que la fabrication de la bouteille en verre avait une empreinte carbone plus élevée au litre de vin conditionné que celle des autres modes de conditionnement, en plus d'être le mode de conditionnement majoritaire dans le mix d'emballages. Cependant, les méthodes d'évaluation des bénéfices du recyclage et les données d'empreinte carbone des différents process de fabrication et recyclage ont évolué ces dernières années. L'IFV et ses partenaires des autres filières agro-alimentaires ont donc récemment produit dans le cadre du projet PACK-AGB de nouvelles références pour prendre en compte ces évolutions (Figure 9), et mettre en évidence les effets des différents paramètres faisant varier l'empreinte carbone des emballages (résultats non publiés à ce jour). Même en faisant varier ces paramètres, le matériau verre reste le matériau ayant la plus forte empreinte carbone, suivi de la canette et bouteille PET, puis du Bag-in-box®.

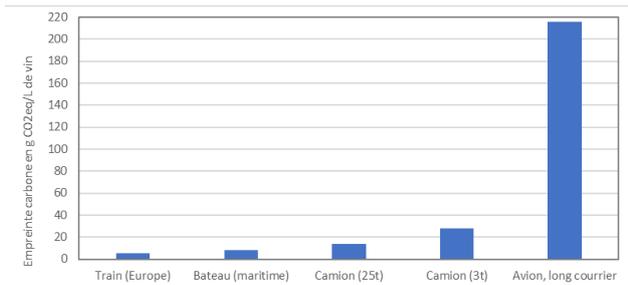
Pour les bouteilles en verre, c'est l'effet masse qui est le plus important. On a défini 3 poids « types » à dire d'experts pour les calculs : 395, 450 et 690 g pour les vins tranquilles, 560, 775 et 835 g pour les effervescents, même s'il existe des bouteilles encore plus légères et encore plus lourdes sur le marché. L'effet de la couleur, lié au taux d'incorporation de verre recyclé (dit « taux de calcin »), est plus faible. Le taux de calcin est au mieux de 40% pour le verre blanc, et en moyenne de 80% pour le verre vert.

Quelques ordres de grandeur à retenir pour écoconcevoir le packaging :

- de -134 à -148 gCO<sub>2</sub>e/l de vin à chaque fois qu'on allège de 100g la bouteille en verre (projet PACK-AGB) ;
- de -60 à -120 gCO<sub>2</sub>e/l de vin quand on passe du verre blanc au verre vert (projet PACK-AGB) ;
- environ -550 gCO<sub>2</sub>e/l de vin quand on passe d'une bouteille en verre vert 450g à un BIB (projet PACK-AGB) ;
- environ -280 gCO<sub>2</sub>e/l de vin (valeur moyenne) quand on passe d'une bouteille en verre 400g usage unique à une bouteille en verre 450g réemployée [15].

#### 4.4. Réduire l'empreinte carbone de la distribution des vins

Il existe des différences très importantes d'impact entre les différents modes de transport au km (Figure 9). L'avion est le plus impactant, suivi par la camionnette, puis le camion, le train, et enfin le bateau. On peut expliquer le faible impact du bateau ramené au km et au kg de produit par les capacités de remplissage très importantes.



**Figure 9.** Comparaison de l’empreinte carbone du transport de 1L de vin en bouteille de 500g sur 100 km [12].

Sans entrer dans des comparaisons par pays, il faut retenir que sur les longues distances (intercontinentales), le bateau est bien plus performant que l’avion. Sur des moyennes distances, le train est plus performant que le camion.

A noter que ces facteurs d’émissions sont donnés pour des taux de remplissage fixés mais en pratique l’optimisation logistique peut accroître la performance carbone du transport.

Ces résultats ne prennent pas en compte le déplacement du consommateur jusqu’au point de vente. Certaines études montrent toutefois l’importance que peut avoir ce déplacement dans le total de l’impact (déplacement en voiture individuelle majoritairement). Le prendre en compte dans les calculs est difficile car il est presque impossible d’allouer la part du trajet correspondant au seul transport du vin (trajets multifonctionnels) mais il est intéressant d’avoir ces éléments en tête lorsque l’on souhaite aménager un point de vente.

Ainsi, par exemple, un déplacement de 20 km en voiture émet 5 kg de CO<sub>2</sub>e [12]. Un aller-retour de 20 km pour aller acheter un carton de vin entraîne un doublement de l’empreinte carbone du vin.

*Focus sur le réemploi de la bouteille*

Il s’agit d’une pratique autrefois répandue mais qui revient au goût du jour, notamment du fait de son avantage environnemental. On a vu précédemment que la fabrication de la bouteille en verre représentait la majorité de l’empreinte carbone du vin. Une étude de 2023 menée par RDC-Environnement et financée par l’ADEME a montré qu’il existait un gain environnemental associé au passage au réemploi à partir d’un nombre d’utilisation supérieur à 2 et jusqu’à une distance parcourue jusqu’au centre de lavage de 600 km [15].

Ainsi, la loi Anti-gaspillage pour une économie circulaire (AGEC) propose une trajectoire d’intégration d’emballages réemployés sur le marché (Tableau 1). La proportion minimale d’emballages réemployés à mettre sur le marché annuellement en France est fixée en fonction du chiffre d’affaires de l’entreprise (au SIREN) selon une trajectoire progressive de 2023 à 2027 (loi AGEC, décret 2022-507 du 8 avril 2022). Chaque entreprise produisant ou important plus de 10 000 produits emballés doit désormais comptabiliser ses emballages réemployés et remonter annuellement ces données auprès d’Adelphe ou de l’ADEME au 1er janvier 2024.

**Tableau 1.** Objectif de taux d’emballages réemployés en fonction du chiffre d’affaires de l’entreprise (loi AGEC).

Chiffres d'affaires	2023	2024	2025	2026	2027
< 20 M				5 %	10 %
20 à 50 M			5 %	7 %	10 %
> 50 M	5 %	6 %	7 %	8 %	10 %

**5. Aller au-delà du carbone avec l’Analyse du Cycle de Vie**

L’empreinte carbone quantifie la contribution au changement climatique. Il s’agit d’un indicateur intéressant mais elle ne permet pas d’embrasser la diversité des impacts environnementaux. Il existe en effet d’autres enjeux, qui sont également importants à intégrer et qui sont parfois décorrélés de l’empreinte carbone : qualité des eaux, biodiversité, gestion des ressources, qualité de l’air, etc.

La méthode l’Analyse de Cycle de Vie (ACV) est une méthode plus complète que l’empreinte carbone car elle permet d’intégrer des indicateurs supplémentaires à l’analyse, tels que l’émission de particules fines dans l’air, l’eutrophisation des eaux (surcharge d’azote et de phosphore), l’écotoxicité de l’eau douce (émissions de polluants organiques et inorganiques), la consommation d’eau, etc.

Bien que la méthode nécessite de mobiliser des modèles plus complexes comme des modèles de lixiviation de nitrates, de dérive de phytosanitaires et d’érosion des sols, le mode de calcul de ces indicateurs reste toutefois analogue à celui de l’empreinte carbone. A chaque flux entrant et sortant du système, est associé un facteur caractérisant l’impact de ce flux sur l’indicateur étudié.

Les indicateurs dépendent de la méthode utilisée. Par exemple, la méthode EF 3.1 de la Commission Européenne [16] fournit le package d’indicateurs listés dans le Tableau 2.

**Tableau 2.** Indicateurs d'impacts environnementaux mobilisés dans la méthode ACV Environnemental Footprint 3.1

Catégories d'impact EF 3.1	Unité
Changement climatique (empreinte carbone)	kg CO <sub>2</sub> eq
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg CFC11eq
Toxicité humaine, cancérigène	CTUh
Toxicité humaine, non cancérigène	CTUh
Particules fines	Disease incidence
Rayonnement ionisant	KBq U235eq
Formation d'ozone photochimique	kg COVNMeq
Acidification	Mol H <sup>+</sup> eq
Eutrophisation terrestre	Mol Neq
Eutrophisation des eaux douces	kg Peq
Eutrophisation des eaux marines	kg Neq
Écotoxicité des eaux douces	CTUe
Utilisation des terres	Pt
Consommation d'eau	m <sup>3</sup> world eq
Epuisement des ressources, minéraux et métaux	kg Sbeq
Epuisement des ressources, matières fossiles	MJ

L'écotoxicité de l'eau douce est liée à l'émission de substances toxiques pour les écosystèmes dans les eaux de surfaces, en particulier les produits phytosanitaires et les métaux lourds pour les émissions agricoles. Cette écotoxicité a également une forte incidence sur la diminution de la biodiversité. Pour agir sur cet indicateur, on peut notamment :

- réduire la quantité de produits appliqués ;
- substituer les produits appliqués par des produits moins écotoxiques ;
- réduire les transferts dans l'environnement (utilisation d'un matériel à plus faible dérive, interception de la dérive par des infrastructures agroécologiques).

L'eutrophisation marine est un phénomène d'obstruction des milieux aquatiques marins par un développement excessif d'algues vertes. Cela entraîne une asphyxie des écosystèmes et une perte de la biodiversité. Ce développement des algues est dû à un excès de substances azotées dans l'eau (nitrates notamment), et donc en lien avec toutes les pratiques émettant des substances azotées dans l'environnement. Le travail sur cet indicateur passe par :

- réduire ou optimiser la fertilisation (quantité et date des apports) ;
- couvrir le sol pour éviter la perte d'éléments fertilisants dans l'environnement, surtout pendant les périodes hivernales ;
- intercepter les transferts par l'implantation d'infrastructures agroécologiques (haies, bandes enherbées).

L'empreinte eau est le bilan entre l'eau prélevée et l'eau rapidement restituée au bassin versant et ses écosystèmes. On s'intéresse donc aux pratiques qui engendrent de l'évaporation ou évapotranspiration (l'irrigation par exemple), de l'incorporation d'eau dans un produit exporté du bassin versant, ou encore de l'extraction d'eau fossile. En effet, cette eau qui n'est pas restituée rapidement met un an pour retomber sous forme de pluie sur le bassin versant, ce qui va priver les écosystèmes de cette eau et induire une diminution de la biodiversité.

Si les résultats sur l'empreinte carbone nous renseignaient précédemment sur l'importance du mode de conditionnement avec 30% des émissions associées à la fabrication des bouteilles en verre, l'intégration d'autres impacts environnementaux mettent en évidence d'autres sources de pollution.

Il ressort en effet, que sur les indicateurs écotoxicité de l'eau douce et eutrophisation, les pollutions de l'eau issues de transferts de polluants à la vigne (produits phytosanitaires, nitrates, phosphore et métaux) sont des enjeux prégnants (respectivement 50% et 40% des impacts). De même, le prélèvement d'eau en cave représente 37% de la pression sur la ressource en eau sur le cycle de vie total du vin.

Le passage à une analyse multi-indicateur complexifie le processus d'éco-conception mais il le rend également plus riche. Car, l'enjeu est alors de réduire ses impacts environnementaux sans réaliser de transfert de pollution. On essayera par exemple de se prémunir des solutions qui viseraient à réduire son empreinte carbone en augmentant la pression sur d'autres indicateurs.

Parmi les exemples de leviers permettant une réduction des impacts sur plusieurs indicateurs on pourra par exemple citer :

- l'intégration de variétés résistantes : réduction de l'empreinte carbone par réduction de la consommation de carburant et réduction de l'écotoxicité de l'eau douce par réduction de la quantité de produits phytosanitaires appliqués ;
- l'implantation de haies, d'enherbement intra-parcellaire ou de bandes enherbées : réduction de l'empreinte carbone par séquestration et réduction des transferts de polluants dans l'environnement.

Venant s'ajouter aux classiques indicateurs technico-économiques ou liés à la qualité, l'empreinte carbone est une brique supplémentaire permettant d'accompagner la prise de décision. L'intégration d'autres indicateurs environnementaux, notamment par la réalisation d'une ACV rend le processus de décision plus complexe, mais aussi plus riche.

## 6. Références

1. GIEC, Changement climatique 2021: les bases scientifiques physiques. Contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2021)

2. Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, Stratégie Nationale Bas Carbone : la transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone (2020)
3. S. Pellerin, L. Bamière et al, Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? (2020)
4. H. Clivot et al, Modeling soil organic carbon evolution in long-term arable experiments with AMG model (2019)
5. Décret d'application n°2022-538 du 13 avril 2022 définissant le régime de sanctions applicables en cas de méconnaissance des dispositions relatives aux allégations de neutralité carbone dans la publicité
6. SDES, Datalab : Chiffres clés du climat France, Europe et Monde (2020)
7. ADEME, Base de donnée Agribalyse 3.1
8. CITEPA, Rapport Secten (2019)
9. Douane française, Casier Viticole Informatisé (2019)
10. Ministère de l'Agriculture, Agreste (2019)
11. ARVALIS et instituts techniques agricoles, Guide GEST'IM+ (2023)
12. ADEME, Base Empreinte®
13. IFV, BIVB, Projet MOSGA - Impact environnemental de l'entretien du sol et de l'enherbement (2023)
14. CA Pays de la Loire, ADEME, Carbocage - Une démarche multi-sectorielle pour améliorer la séquestration du carbone des haies au travers d'un marché du carbone local (2020)
15. ADEME, Evaluation environnementale de la consigne pour réemploi d'emballages en verre (2023)
16. Commission Européenne, Environmental Footprint