

Le rôle de l'électricité dans la décarbonation de l'agriculture

Durant plusieurs mois, l'Union Française de l'Electricité a étudié différentes pistes de décarbonation du secteur agricole par le biais de l'électricité afin de proposer des solutions pertinentes et efficaces en réponse à cette problématique.

L'élaboration du présent rapport, résultant du travail de Salomé Trichard lors de son stage à l'UFE, a notamment été rendue possible grâce aux échanges avec des expert(e)s du milieu de l'électricité et du milieu agricole portant sur le fonctionnement et l'avancée des technologies permettant d'électrifier les usages et de produire de l'électricité.

L'UFE tient ainsi à les remercier pour leur contribution, ainsi que ses adhérents.



Sommaire

Introduction	4
Les relations entre agriculture et changement climatique	6
Les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture	7
Les puits de carbone et le rôle du milieu agricole	9
Les impacts du changement climatique sur l'agriculture	11
La place de l'électricité dans la décarbonation de l'agriculture	12
L'atout du mix électrique français.....	13
L'électrification des usages agricoles.....	15
Les engins agricoles.....	16
Le chauffage des serres et des bâtiments agricoles	21
L'électrification des usages liés au secteur agricole	25
Le transport des produits agricoles	26
La production d'engrais bas-carbone.....	28
La production d'énergie bas-carbone dans l'agriculture	32
La biomasse	33
L'agrivoltaïsme.....	35
L'éolien	39
Les leviers économiques permettant de réduire les émissions du secteur agricole .	41
La tarification du carbone	42
La taxe carbone.....	43
La fiscalité spécifique au secteur agricole.....	44
Les pistes d'évolutions pour le secteur agricole	46
Le marché européen du carbone	47
Les quotas carbone	47
Les crédits carbone	48
Les pistes d'évolutions pour le secteur agricole	49
Les certificats d'économies d'énergie	50
Le fonctionnement du dispositif des CEE	51
Les actions d'efficacité énergétique pour l'agriculture.....	52
Conclusion	55
Synthèse des propositions	57



Introduction

De plus en plus de textes politiques visent à construire une coopération mondiale dans la lutte contre le changement climatique. Le plus connu, l'Accord de Paris, adopté en 2015 par 195 États ainsi que par l'Union européenne, vise à contenir l'augmentation de la température par rapport à l'ère préindustrielle (1750-1850) en dessous de 2°C d'ici la fin du siècle. Pour cela, il est nécessaire de réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) afin d'atteindre la neutralité carbone, c'est-à-dire un état d'équilibre entre les émissions anthropiques et les capacités d'absorption par les puits de carbone. Le « Pacte vert pour l'Europe » de décembre 2019 constitue ainsi la feuille de route environnementale européenne, avec pour perspective que l'Europe soit en 2050 le premier continent à atteindre la neutralité carbone. Dans ce cadre, la Commission européenne a proposé en 2021 de renforcer sa législation en matière d'action climatique afin de pouvoir réduire les émissions de l'ensemble des États membres de 55 % d'ici 2030 par rapport à 1990.

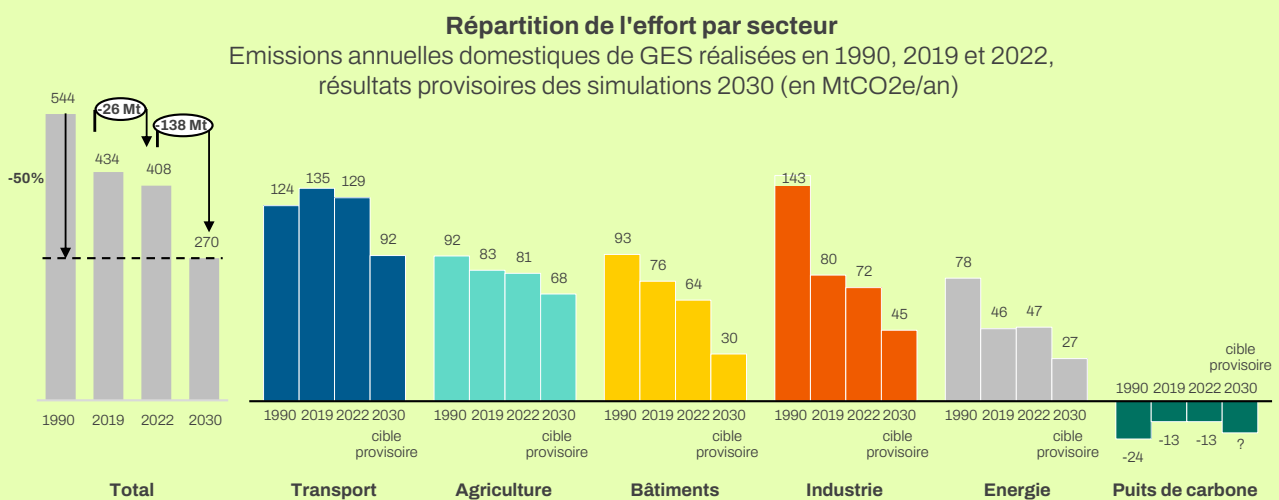
Afin d'atteindre le jalon européen de 2030 et de se placer ainsi sur la trajectoire de la neutralité carbone en 2050¹, la Première ministre française a décliné en mai 2023 des objectifs précis de réduction des émissions de GES pour chaque grand secteur de l'économie. **Le secteur agricole doit ainsi réduire ses émissions de 16 % d'ici 2030 par rapport à aujourd'hui, soit une baisse de 13 MtCO_{2eq}.**

Contrairement aux émissions de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O) provenant respectivement du bétail et de l'utilisation

d'engrais, les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) du secteur agricole sont liées à la consommation d'énergies fossiles. Pour ces émissions, les technologies électriques peuvent constituer une solution alternative permettant de réduire l'empreinte carbone de l'agriculture sans perturber les modes de production et de consommation du secteur agricole.

D'autre part, le secteur présente également un gisement important en matière de production d'électricité renouvelable (EnR). **Combiner électrification des usages et développement des EnR est ainsi un moyen d'assurer l'indépendance énergétique du milieu agricole.** Conséquence de la guerre en Ukraine, l'augmentation récente des prix des engrais fabriqués à partir de gaz russe met quant à elle en évidence l'importance de réduire la dépendance indirecte aux sources d'énergies fossiles exclusivement importées.

Le présent rapport propose d'analyser le rôle que peut jouer l'électricité française, très largement décarbonée, dans l'atteinte des objectifs de baisse des émissions de GES du milieu agricole. Dans une première partie, ce rapport traitera des liens entre le secteur agricole et le changement climatique. La deuxième partie proposera une analyse de la place que peut jouer l'électricité dans la décarbonation de l'agriculture, que ce soit au travers de la décarbonation de certains usages ou bien au travers de la production d'énergie bas-carbone. Enfin, la dernière partie sera consacrée à l'analyse des différents mécanismes financiers qui peuvent aider à la décarbonation du secteur agricole.



¹ Cet objectif figure dans l'article 1 de la loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'Énergie et au Climat.

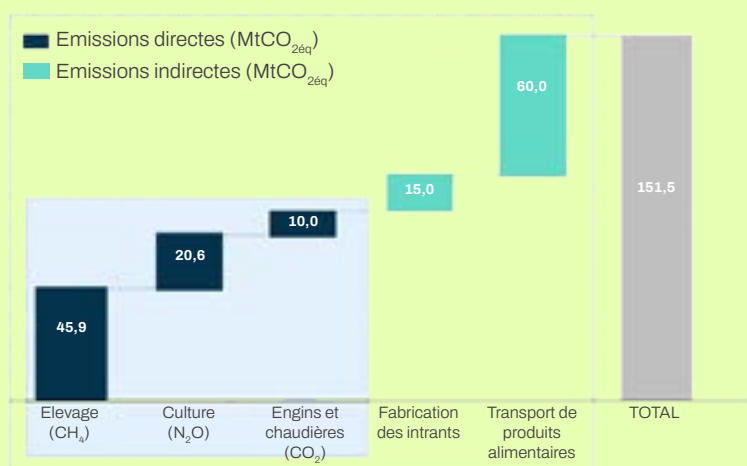
A young plant with several green leaves is growing in a pot. The background is a textured, light brown color. The text is overlaid on the left side of the image.

Les relations entre agriculture et changement climatique

Les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture

Le secteur de l'agriculture et de la sylviculture² était à l'origine de 18,4 % des émissions nationales de GES en 2021 (hors puits de carbone), étant ainsi le troisième secteur le plus émetteur après ceux des transports et de l'industrie³. L'élevage est à l'origine de 60 % de ces émissions, les cultures 27 % et les engins, moteurs et chaudières 13 %⁴. Parmi les 76,5 MtCO_{2eq} émises par le secteur, seules les émissions directement liées à l'activité agricole sont prises en compte, excluant par convention les émissions indirectes liées à la production des matières premières utilisées par le milieu ainsi que le transport des produits agricoles⁵.

Périmètre étudié des émissions directes et indirectes de GES associées à l'agriculture



² Les émissions de la sylviculture représentent une part minime des émissions du secteur.

³ [Citepa, Rapport Secten 2023](#)

⁴ [Citepa, Rapport Secten 2023](#)

⁵ Du point de vue comptable ces émissions sont respectivement allouées à l'industrie et au transport.

Contrairement aux autres secteurs qui émettent principalement du CO₂ dû à la combustion d'hydrocarbures, 45 % des émissions agricoles de GES sont constituées par du CH₄, 42 % par du N₂O et seulement 13 % sont du CO₂ :

- **Le méthane** est en France à 69 %⁶ émis par l'agriculture, quasi exclusivement par l'élevage des bovins et des ovins. Ce gaz provient de la fermentation entérique et des déjections animales.
- **Le protoxyde d'azote** provient de l'épandage d'engrais minéraux et organiques utilisés dans les cultures. L'agriculture est à l'origine de 87 %⁷ des émissions nationales de protoxyde d'azote.
- **Le dioxyde de carbone** est émis lors de la combustion d'énergie fossile pour alimenter les engins agricoles ou permettre le chauffage de certains bâtiments comme les serres.

Ces différents GES ne se différencient pas seulement par leur composition, mais également par leur contribution à l'effet de serre dont l'augmentation est à l'origine du réchauffement climatique. En effet, les GES n'ont pas tous le même pouvoir ou potentiel de réchauffement global (PRG). Pour homogénéiser l'évaluation des impacts des différents GES, il est pris comme référence l'impact du CO₂ auquel on attribue un pouvoir réchauffant égal à 1. **L'impact des autres gaz est ainsi exprimé relativement au CO₂, cela permet de parler alors d'équivalent CO₂.** Le PRG est utilisé pour évaluer l'impact direct d'un GES sur le réchauffement climatique. Ci-dessous les PRG sur 100 ans des trois principaux gaz du secteur agricole d'après le GIEC :

- **CO₂ = 1**
- **CH₄ = 28**
- **N₂O = 273**⁸

Il est possible d'utiliser le PRG sur 20 ans mais le PRG des GES est généralement calculé sur 100 ans et c'est cette période qui constitue la valeur de référence pour les rapportages effectués dans le cadre de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. Cela a pour conséquence de faire porter un poids relativement plus important au dioxyde de carbone dans les émissions de GES. Les poids relatifs des impacts des différents GES sont donc très sensibles à la métrique utilisée, notamment en termes d'horizon temporel.

⁶ [Citepa, Rapport Secten 2023](#)

⁷ [Citepa, Rapport Secten 2023](#)

⁸ [Citepa, Rapport Secten 2023](#)



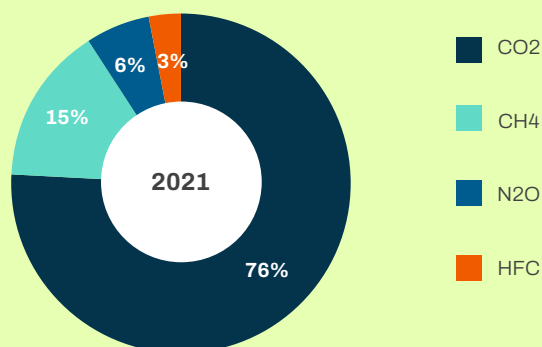
Les puits de carbone et le rôle du milieu agricole

Bien que les principales émissions de GES du secteur agricole soient principalement le méthane et le protoxyde d'azote, **le CO₂ représente 76 % des émissions** tous secteurs confondus. C'est donc le plus grand contributeur au réchauffement climatique⁹.

Une part de ces émissions de GES peut être stockée, notamment dans les sols agricoles et forestiers, on parle alors de **puits de carbone**. Pour bien comprendre ce mécanisme, il convient de s'intéresser au **cycle de vie du carbone**. Cette molécule peut prendre différentes formes selon son habitat. Naturellement présent dans l'atmosphère sous forme de CO₂, les plantes l'absorbent lors de la photosynthèse. Elles rejettent ensuite du dioxygène O₂ (communément appelé « oxygène ») et transfèrent le carbone dans les sols par le biais de la matière organique

produite (comme les feuilles mortes, les débris végétaux, ou les déchets organiques). Les autres êtres vivants jouent également un rôle dans le transfert du carbone dans les sols via la matière organique issue de la décomposition des organismes morts et de leurs excréments. En parallèle, le CO₂ présent dans l'atmosphère interagit avec l'océan. De la même façon que le carbone situé dans l'atmosphère, une partie du carbone de l'océan termine stockée dans les sols océaniques par le biais des êtres vivants. Le carbone capturé dans les sols peut être stocké sous la forme de différents éléments comme le charbon, le pétrole ou le gaz. **La consommation de ces énergies fossiles émet du dioxyde de carbone qui retourne dans l'atmosphère.**

Répartition des émissions de CO₂e par GES en France (Métropole et Outre-mer UE) hors UTCATF - en %



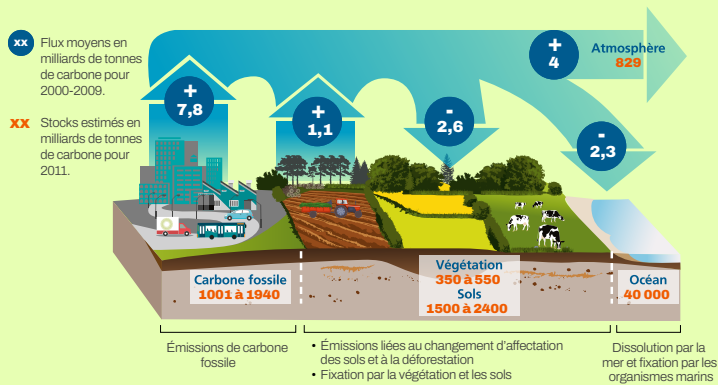
9 Citepa, Rapport Secten 2023

Or c'est l'augmentation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère qui est à l'origine du réchauffement climatique.

A titre d'illustration, entre 2000 et 2009, sur 8,9 milliards de tonnes de carbone émises (MtCO₂)¹⁰, 4 milliards sont restées dans l'atmosphère et n'ont pu être absorbés par la biosphère ou l'océan¹¹.

En France, la photosynthèse en milieu agricole joue ainsi un rôle essentiel pour réguler le CO₂ présent dans l'air en absorbant 30 MtCO_{2eq}/an¹². Ce sont notamment les prairies qui représentent le plus grand puit carbone en agriculture, elles absorbent autant de carbone que le font les forêts : 80 tC/ha.

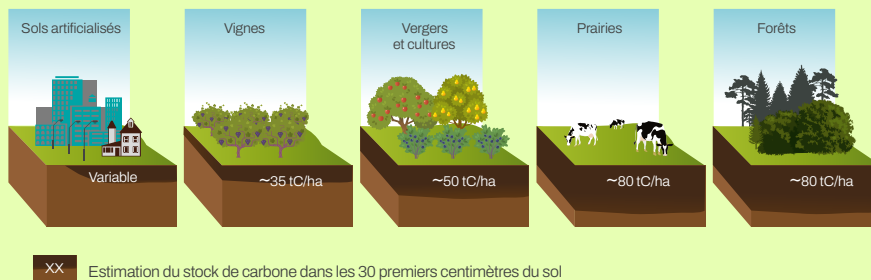
Les flux d'émissions sur la planète : les flux annuels mondiaux de carbone entre les puits naturels et les émissions de CO₂



L'atmosphère contient 829 milliards de tonnes de carbone dont 240 proviendraient des activités humaines depuis 1750. Le flux annuel le plus important est enregistré au niveau des zones industrielles et urbaines avec 7,8 Md de tonnes auxquelles s'ajoute le flux lié au changement d'affectation des sols et à la déforestation pour 1,1 Md de tonnes. Ces émissions sont partiellement compensées par le bilan de la photosynthèse et de la respiration des végétaux ainsi que par la dissolution du carbone dans les océans pour 2,6 et 2,3 Md de tonnes respectivement. Au final, 4 Md de tonnes de carbone s'ajoutent dans l'atmosphère chaque année.

Source : plaquette ADEME/ IPCC

Les stocks actuels de carbone dans les sols selon le type de couverture



Le stock de matière organique est élevé dans les forêts, les prairies et les pelouses d'altitude mais faible en viticulture, dans les zones méditerranéennes et de cultures. Les stocks sont difficilement quantifiables en zone urbaine, bien que des réserves conséquentes peuvent exister sous les espaces verts. Pour les forêts, le stock de carbone dans la litière n'est pas pris en compte.

Source : ADEME

10 ADEME / IPCC
11 ADEME / IPCC
12 Ministère de l'agriculture et de l'alimentation

Les impacts du changement climatique sur l'agriculture

Les conséquences du changement climatique impactent de plus en plus la production agricole française.

En effet, le dérèglement climatique se manifeste notamment par la multiplication et l'augmentation de l'intensité de phénomènes météorologiques inhabituels ainsi que du parasitisme¹³ qui influent tous deux les récoltes et le bien-être des animaux d'élevage. Plus concrètement, et à titre d'illustration, le GIEC prévoit une raréfaction des précipitations dans le sud de la France mais, dans le même temps, une augmentation de la fréquence et de l'intensité d'épisodes cévenols. Ces changements auront une incidence directe sur l'approvisionnement et la gestion des nappes phréatiques nécessaires à l'agriculture surtout en périodes de sécheresses et de fortes chaleurs, phénomènes qui s'intensifieront avec le dérèglement climatique.

La Fédération Nationale des Syndicats d'Exploitants Agricoles (FNSEA) estime que ce dérèglement entraîne notamment une stagnation des rendements du blé à progrès génétique constant, des récoltes précoces pour les pommes et les vignes ou encore un manque de fourrage pour les animaux d'élevage pouvant entraîner des abattages anticipés des vaches comme en 2018.

Bien qu'il soit difficile de prévoir les impacts précis du changement climatique sur les récoltes futures, quelques tendances générales sont avancées par la FNSEA :

- **Diminution des rendements des grandes cultures (blé, maïs et riz) ;**
- **Diminution de la qualité nutritionnelle et des volumes de production due au manque d'eau, aux maladies, aux ravageurs, etc. ;**
- **Dégradation des sols et désertification des sols agricoles ;**
- **Déplacement des zones de culture vers des climats plus favorables (souvent plus au nord).**

Le dérèglement climatique constitue ainsi un immense défi d'adaptation pour les agriculteurs.

13 Les maladies et les ravageurs.

La place de l'électricité dans la décarbonation de l'agriculture

L'atout du mix électrique français

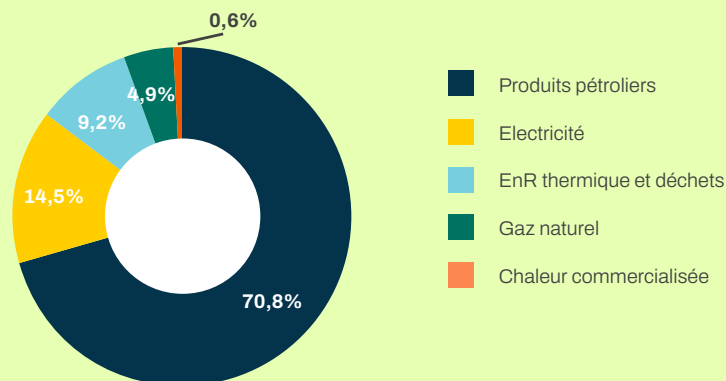
En complément de la mise en place de mesures ayant trait aux changements de pratiques agricoles qui permettent de réduire les émissions de méthane et de protoxyde d'azote¹⁴, il est nécessaire d'adresser les émissions de dioxyde de carbone liées à la consommation d'énergie : sur les 18,4 % des émissions françaises provenant du secteur agricole, 13 % sont des émissions de CO₂ donc directement liées à l'énergie consommée¹⁵.

En effet, la consommation totale d'énergie du secteur agricole, bien qu'en légère baisse depuis plusieurs années, reste largement dominée par les énergies fossiles, en particulier par le pétrole et le gaz naturel qui ont des facteurs d'émissions

élevés (respectivement 287 gCO_{2eq}/kWhPCI et 240 gCO_{2eq}/kWhPCI¹⁶). Atteindre l'objectif de neutralité carbone nécessite donc de réduire au minimum leur utilisation.

En ce sens, en sus des actions de sobriété et d'efficacité énergétique qui permettent de réduire les besoins d'énergies, il est urgent de remplacer le volume d'énergies fossiles restant par des énergies bas-carbone que sont principalement l'électricité, les réseaux de chaleur alimentés par des énergies renouvelables et/ou de récupération (EnR&R) et la biomasse. En effet, grâce à son mix électrique décarboné à plus de 87 %¹⁷, la France bénéficie d'ores et déjà d'une électricité avec un facteur d'émission d'un tout autre ordre

Consommation énergétique finale du secteur agricole en 2021



¹⁴ Il convient de noter que des mesures d'ordre sociétales comme l'évolution des habitudes alimentaires peuvent également avoir un effet sur les émissions du secteur.

¹⁵ [Citepa, Rapport Secten 2023](#)

¹⁶ [Base Empreinte ADEME](#)

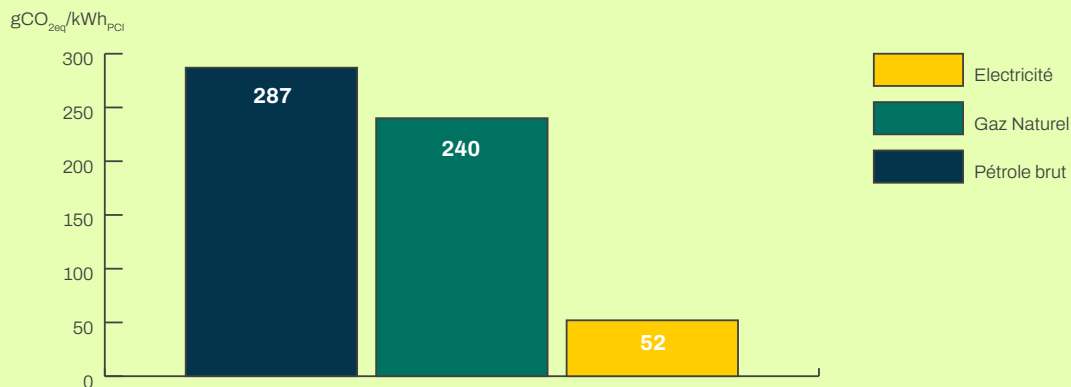
¹⁷ [Bilan électrique 2022, RTE](#)

de grandeur (52 gCO_{2eq}/kWh en 2022¹⁸). La part de l'électricité dans la consommation d'énergie pourrait ainsi atteindre 55 % à horizon 2050 (27 % aujourd'hui)¹⁹.

L'électrification est donc un moyen de décarboner les usages consommateurs d'énergies fossiles du milieu agricole que sont principalement l'utilisation d'engins agricoles, le chauffage des bâtiments agricoles et la production d'engrais.

En outre, le secteur agricole, déjà à l'origine de 20 % de l'énergie produite en France en 2021²⁰, pourrait jouer un rôle de premier plan dans la réalisation de l'objectif de l'État consistant à développer massivement les énergies bas-carbone grâce à des solutions comme la biomasse, l'agrivoltaïsme et l'éolien.

Contenu carbone moyen annuel par vecteur énergétique en 2022



18 [Base Empreinte ADEME](#)

19 [RTE, « Futurs énergétiques 2050 », octobre 2021](#)

20 [France stratégie, « Biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel ? », 2021](#)



L'électrification des usages agricoles

Cette section traite des potentiels d'électrification des usages agricoles fortement émetteurs de CO₂, du fait de leur consommation d'énergies fossiles, à l'origine de 13 % des 76,5 MtCO_{2eq} émises par le secteur agricole, soit 2,4 % des émissions françaises.



Les engins agricoles

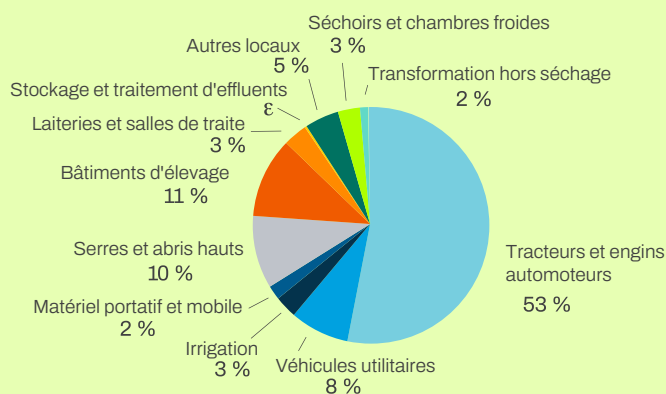
Les différents dérivés du pétrole que sont le fioul, le gazole²¹ non routier, le gazole, l'essence et le gaz de pétrole liquéfié représentent les trois-quarts de l'énergie consommée par le milieu agricole²².

En particulier, **la majorité des émissions du secteur agricole liées à la combustion d'énergie trouve son origine dans la combustion du fioul lourd utilisé pour le**

fonctionnement des tracteurs et autres engins agricoles.

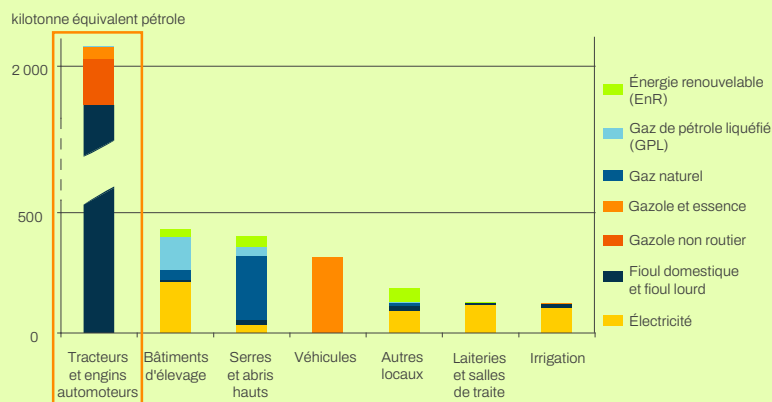
En effet, comme indiqué ci-dessous, le fioul (324 gCO_{2eq}/kWhPCI) représentait 88 % du volume total de carburant consommé, le reste étant constitué de gazole non routier²³ (322 gCO_{2eq}/kWhPCI), de gazole (323 gCO_{2eq}/kWhPCI) et d'essence (314 gCO_{2eq}/kWhPCI)²⁴.

Répartition des consommations d'énergie par type d'usage dans les exploitations agricoles en 2011



Source : SSP, Agreste Primeur 311

Consommation par type d'énergie pour chaque usage



Source : SSP, Agreste Primeur 311

21 Le gazole peut être appelé gasoil ou encore diesel. Dans ce document uniquement le terme gazole sera utilisé.

22 Commissariat général au développement durable, n°517, Mai 2014

23 La composition du gazole non routier est similaire à celle du gazole routier, simplement le gazole non routier est destiné aux engins non routiers. Il est interdit à tout particulier de s'alimenter en gazole non routier.

24 Base empreinte ADEME

Le premier levier de baisse des émissions à actionner étant la réduction de la consommation d'énergie, via la sobriété et l'efficacité énergétique, plusieurs solutions existent en ce sens, pour certaines relatives à l'usage du matériel, comme l'adoption d'une conduite économique²⁵ ou bien la régulation de l'utilisation de la climatisation, (de 20 % à 35 % de surconsommation de carburant²⁶) et son entretien régulier. Par ailleurs, le choix d'un matériel efficace énergétiquement et bien dimensionné aux besoins est important, en particulier s'agissant du choix des tracteurs. À ce titre, une puissance mécanique supérieure à 2 CV par hectare entraîne une augmentation considérable de la consommation de carburant²⁷. Enfin, au-delà de l'intérêt climatique, la réduction de la consommation d'énergie des engins agricoles et des tracteurs représente également un avantage économique à l'usage pour les agriculteurs.

Les différentes énergies alternatives

Ces solutions de sobriété et d'efficacité énergétique comportent néanmoins des limites, puisqu'un tracteur nécessitera toujours un minimum d'énergie pour fonctionner. Les 800 000 tracteurs présents sur le territoire français (soit environ 2 par exploitation) ont une durée de vie moyenne de 28 ans²⁸. C'est pourquoi, sur le long terme, une solution peut être de les remplacer par

des engins utilisant une énergie décarbonée à la place des produits pétroliers. Il convient en ce sens d'analyser les avantages et inconvénients de plusieurs sources d'énergie alternatives que sont les biocarburants, le bioGNV, l'hydrogène et l'électricité.

Les biocarburants

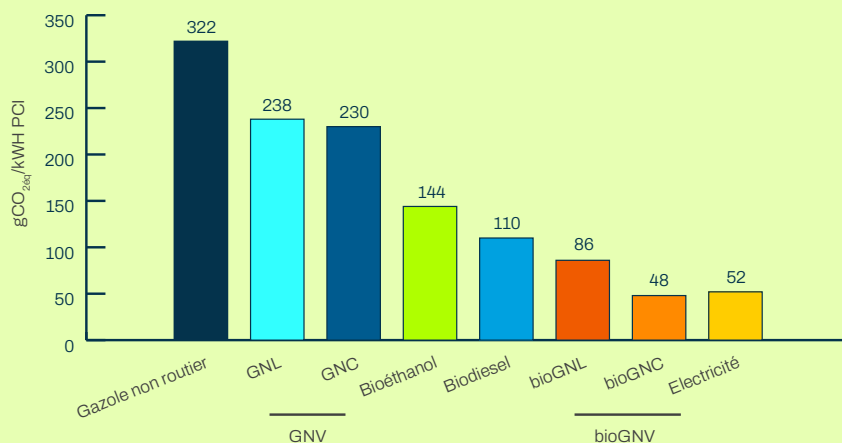
Le biodiesel et le bioéthanol obtenus à partir d'huile végétale, de graisse animale ou de résidus agricoles représentent une solution alternative aux énergies fossiles.

Le bioéthanol est le substitut pour la filière essence, il est notamment obtenu en France à partir de betterave à sucre et de céréales (blé et maïs). Pour limiter les conflits d'usage du foncier avec la production alimentaire, une deuxième génération de bioéthanol qui utilise les déchets des plantes pour sa fabrication voit le jour, qualifiée de biocarburants « avancés ».

Le biodiesel est lui associé au gazole, il représentait 7,3 % de l'énergie de la filière gazole en 2019²⁹. Ce biocarburant est produit à partir d'huiles végétales (colza et tournesol) et de graisses animales. De la même façon une deuxième génération existe pour limiter la concurrence avec la production agricole.

Le bioéthanol et le biodiesel possèdent respectivement des facteurs d'émission de 144 gCO_{2eq}/kWhPCI et 110 gCO_{2eq}/kWhPCI³⁰. Soit

Facteurs d'émissions des différentes énergies alternatives



Source : UFE ; données ADEME

25 L'ADEME conseille notamment de « privilégier les options « prise de force économique », « booster » ou encore « 40 km/h éco » »

26 ADEME, Agriculture et environnement : Des pratiques clés pour la préservation du climat, des sols et de l'air, et les économies d'énergie

27 Chambre d'agriculture de la Creuse

28 CGAAER, « DECARBONER 100 % DE L'ENERGIE UTILISEE EN AGRICULTURE A L'HORIZON 2050 »

29 Ministère de la transition écologique, « Biocarburants »

30 Base Empreinte, ADEME

entre 2 et 3 fois moins que le gazole non routier.

Ces valeurs dépendent toutefois du contenu carbone de la biomasse utilisée pour produire les biocarburants qui repose sur l'hypothèse de la neutralité carbone, selon laquelle les émissions des végétaux utilisés pour la fabrication des biocarburants ont capté au cours de leur vie autant d'émissions qu'ils en ont émis lors de leur combustion. Cette hypothèse est valide à condition d'une gestion cohérente de la biomasse.

Cette solution représente donc deux avantages : elle possède un contenu carbone faible et son développement est facilité par sa compatibilité avec les engins thermiques existants.

Le GNV/bioGNV

Le Gaz Naturel Véhicule (GNV) consiste à utiliser directement du gaz naturel en tant que combustible pour les moteurs thermiques des véhicules. Le GNV est divisé en deux sous catégories selon sa forme : le Gaz naturel comprimé (GNC) et le Gaz naturel liquéfié (GNL). Comparativement au gazole non routier, le GNC comme le GNL présentent l'avantage de réduire les émissions de particules fines et, à moindre échelle, celles de CO₂ (230 gCO₂/kWhPCI pour le GNC et 238 gCO₂/kWhPCI pour le GNL). Avec plus de stations de recharge de GNC que de GNL disponibles sur le territoire, le GNC est principalement utilisé pour le transport routier. Le GNL étant quant à lui sous forme liquide, et donc chimiquement plus condensé, il apporte plus d'autonomie aux véhicules mais nécessite d'être consommé relativement rapidement.

Le bioGNV (aussi appelé biométhane) est issu de la méthanisation ou de la pyrogazéification qui permettent de produire du méthane à partir de déchets organiques. De la même façon que pour le GNV, le bioGNV est divisé entre bioGNC et bioGNL. Ces carburants permettent une réduction des particules fines par rapport au gazole, mais surtout une réduction des émissions de CO₂ (48 kgCO₂^{2eq}/kWhPCI pour le bioGNC et 86 kgCO₂^{2eq}/kWhPCI pour le bioGNL). Ces émissions reposent sur l'hypothèse de la neutralité carbone de la biomasse comme pour les biocarburants. **Le bioGNV constitue ainsi une solution pertinente du point de vue climatique, néanmoins le rythme**

de développement de l'utilisation de ce carburant reste faible, du fait du manque de maillage du réseau de distribution et du manque d'autonomie des engins. De plus, émergent des conflits d'usage autour de la biomasse et, à terme, un manque de ressource pour fournir l'ensemble du parc automobile.

L'entreprise New Holland propose à la vente depuis 2022 un tracteur fonctionnant au GNL, mais il s'agit d'un des seuls modèles existants de ce type. Afin de soutenir la filière, l'ADEME a récemment mis en place un dispositif visant à financer les équipements et les réseaux de distribution du bioGNV produit en milieu agricole.

L'hydrogène

L'hydrogène peut être utilisé de deux façons pour permettre la circulation d'un véhicule³¹ :

- Soit l'hydrogène est directement brûlé dans un moteur à combustion, mais cette solution est encore peu développée car non mature techniquement.
- Soit l'hydrogène est utilisé indirectement, que ce soit pour alimenter un moteur électrique via une pile à combustible ou bien sous la forme d'un carburant de synthèse. L'utilisation de l'hydrogène dans une pile à combustible présente l'avantage de ne rejeter que de l'eau, ce qui permet d'éliminer les émissions de particules fines, de soufre et d'oxyde d'azote à l'échappement, et dont de réduire fortement la pollution de l'air. Transformé en carburant de synthèse, l'hydrogène pourrait également alimenter certains véhicules lourds mais cette production se ferait au détriment d'une diminution de rendement de la chaîne énergétique.

Dans tous les cas, cette solution est intéressante pour décarboner le secteur agricole qu'à la condition que l'hydrogène utilisé soit produit en émettant le moins de GES possible. L'électrolyse de l'eau constitue en ce sens la voie privilégiée pour produire de l'hydrogène bas-carbone, sous-réserve que la source d'électricité soit renouvelable et/ou nucléaire. Cette solution reste aujourd'hui limitée par les avancées de la recherche et du développement.

En 2023, l'entreprise Fendt a sorti son premier

³¹ Pour plus de détails voir : [UFE, « La France à l'avant-poste de la lutte contre le réchauffement climatique grâce à son hydrogène décarboné », novembre 2021](#)

prototype de tracteur hydrogène. L'entreprise veut développer un engin performant et autonome et répondre au besoin d'approvisionnement en hydrogène en développant des stations alimentées par un parc éolien proche.

L'électricité

Le développement d'engins agricoles électriques fait face à deux freins dont le premier est lié à la forte puissance et la longue autonomie requise par ces derniers, nécessitant l'utilisation d'un grand nombre de batteries à forte densité énergétique. Le second frein est inhérent au premier car relatif au poids des batteries. En effet, les récents progrès techniques dans le domaine des batteries au lithium rendent possible la fabrication d'engins agricoles électriques de taille modeste, cependant un tracteur très puissant nécessitera des batteries plus lourdes pour assurer une autonomie suffisante à l'utilisation, avec le risque que cette masse supplémentaire tasse les sols et les altère. Cependant, ces batteries pourraient remplacer les contre-poids installés³² dans les engins agricoles, notamment les tracteurs.

Les engins et tracteurs agricoles électriques présentent toutefois de nombreux avantages en complément de leur moindre impact climatique :

- Le rendement d'un moteur électrique est

bien supérieur à celui d'un moteur thermique. Cette performance permettrait d'économiser entre 20 % et 40 % de puissance pour les engins électriques³³ ;

- Les coûts d'entretien sont plus faibles, ce qui représente un avantage économique pour l'agriculteur ;
- L'absence de nuisance sonore ;
- Une moindre émission de particules fines ;

Le tableau ci-dessous détaille les potentiels d'électrification selon les types d'engins agricole en 2018, potentiels qui ont vraisemblablement cru depuis du fait de l'évolution technologique.

Peu de solutions électriques existent sur le marché, néanmoins le fabricant John Deere propose **un tracteur électrique d'une autonomie d'une journée de travail pour une puissance de batterie de 1000kW**. Ce tracteur, sorti en 2022, répond aux exigences de puissance de la part des agriculteurs et offre la possibilité d'être piloté à distance ou préprogrammé. La même entreprise propose également un tracteur d'une puissance de 156,6 kW (210 chevaux) qui fonctionne à l'hydrogène via une pile à combustible.

Véhicules / Critères		Maturité des technologies	Besoins et attentes du client	Contexte politique et normatif	Infrastructures de recharge	TCO	Synthèse
Tracteur	Petit (40-90 kW)	+	+	=	+	=	++
	Moyen (90-180 kW)	=	=	=	-	=	-
	Gros (>180 kW)	-	-	=	-	=	-
Ensileuse	-	=	=	-	=	-	
Moissonneuse-batteuse	-	=	=	-	=	-	
Chargeur	+	=	=	-	=	+	
Machine à vidanger	-	=	=	-	=	-	
Aérateur	+	=	=	-	=	-	
Faucheuse-débroussaieuse	-	=	=	-	=	-	
Mélangeuse automotrice	++	+	=	+	=	++	

Source : Potentiel d'électrification d'engins off-road du secteur de l'agroéquipement. ANCRE ; Énergies pour Engins Off-Road (2018)

³² Ces contre-poids permettent d'équilibrer le tracteur et d'éviter le basculement en cas de transport d'une charge lourde.

³³ Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie, Énergie pour Engins Off-Road

Les perspectives

À court terme, les caractéristiques techniques des engins agricoles électriques font de l'électrification des robots et des engins agricoles à faible puissance l'axe de développement prioritaire pour l'électricité. Le bioGNV et les biocarburants sont quant à eux plus adaptés au fonctionnement des engins agricoles de forte puissance. Néanmoins, compte tenu de leur gisement limité par les ressources en biomasse, son utilisation devrait être précisément fléchée aux usages pour lesquels il n'existe pas d'autre alternative bas-carbone.

● **Recommandation 1**

Soutenir la recherche et le développement d'engins agricoles fonctionnant à l'électricité ou à l'hydrogène décarboné et mettre en place des aides à l'achat pour les engins agricoles bas-carbone.



Le chauffage des serres et des bâtiments agricoles

Le chauffage des serres

Les serres françaises permettent d'assurer deux-tiers de la production nationale de fruits et légumes, principalement des tomates, des concombres et des fraises, mais également un tiers de la production de fleurs ornementales³⁴. Elles sont principalement utilisées pour permettre aux plants d'être protégés des conditions extérieures (froid, gel, vent, grêle, insectes, pollution, etc.) tout en maintenant la croissance des plantes grâce à la transparence des parois.

Il existe plusieurs types de serres, les serres froides (avec une température inférieure à 12°C), les serres tempérées (jusqu'à 18°C) et les serres chaudes (minimum 18°C). Les serres froides sont naturellement plus tempérées que l'extérieur grâce aux parois transparentes (en verre ou en plastique) qui laissent passer les rayons du soleil mais protègent du gel et du froid. Pour certaines espèces comme les tomates ou les concombres, le soleil ne suffit pas à assurer les conditions climatiques nécessaires au développement des cultures. Dans ces situations, l'agriculteur fait fonctionner un chauffage et les serres sont

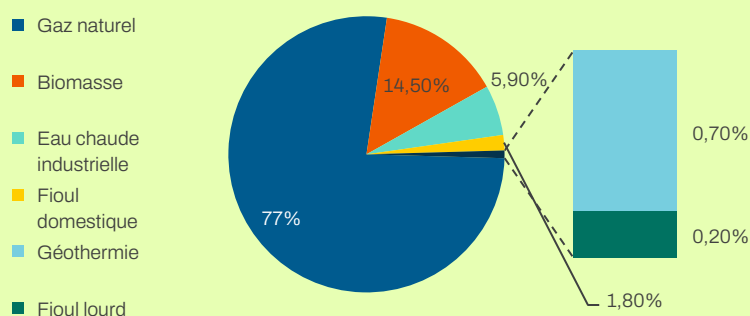
alors qualifiées de tempérées ou chaudes (80 % de l'énergie dédiée au chauffage est ainsi consommée lors des nuits d'hiver lorsque les températures sont les plus basses³⁵).

En 2021 la France comptait 1 129 ha de serres chauffées dont la consommation d'énergie de 3,3 TWh par an est principalement dédiée au chauffage³⁶. L'énergie principalement utilisée pour leur chauffage est le gaz naturel, à hauteur de 77 %, le reste des besoins étant principalement satisfait par la biomasse et la récupération de la chaleur industrielle³⁷.

L'utilisation de gaz pour chauffer les serres est donc responsable de l'émission de 550 000 tonnes de CO₂eq par an, soit la consommation annuelle de 233 000 voitures françaises. Afin de limiter ces émissions, le premier levier d'action est de réduire la consommation d'énergie pour le chauffage.

Il existe des solutions techniques simples à mettre en place comme le nettoyage régulier des parois qui permet d'augmenter l'apport de la lumière naturelle et donc le rayonnement solaire (une augmentation de 5 % de la transmission

Sources d'énergies utilisées pour le chauffage des serres françaises (répartition par surface)



34 CTIFL

35 ADEME, *Productions sous serres chauffées, 2019*

36 CTIFL 2016

37 CTIFL 2016

lumineuse dans la serre permet ainsi une réduction d'énergie de 1,5 %³⁸). En compléments, l'isolation des parois des serres, l'installation d'écrans thermiques ainsi que l'entretien du système de chauffage sont également des solutions à privilégier qui présentent de faibles coûts. La localisation de la serre est aussi à prendre en compte puisqu'à superficie égale, les problématiques de chauffage ne sont pas les mêmes dans le sud ou dans le nord de la France. D'après l'ADEME, « en 2011, la consommation énergétique annuelle moyenne des serres était de 327 kWh/m² en Bretagne contre 274 kWh/m² pour la zone Rhône-Méditerranée. »³⁹. Cette hétérogénéité des besoins de chauffage selon la localisation connaîtra très probablement une tendance générale à la baisse compte-tenu de la hausse de la température moyenne en France d'ici la fin du siècle.

Une fois les actions précédentes effectuées, il est primordial d'utiliser des énergies bas-carbone pour couvrir les besoins de chauffage restant, plutôt que de recourir aux énergies fossiles. Parmi les énergies bas-carbones à privilégier pour chauffer les serres figurent l'énergie de récupération, également nommée **énergie fatale**. Cette énergie résulte d'un processus dont l'objet n'est pas la production de chaleur, par exemple dans le cadre de processus industriels ou dans les data-centers. Le recours à cette solution, concrètement matérialisée par le déploiement d'un réseau d'eau chaude, est cependant limitée par la forte dépendance entre son coût d'investissement d'une part et la distance entre le site fournisseur de chaleur fatale et la serre d'autre part. De plus, l'augmentation tendancielle de l'efficacité énergétique des sites offrant de l'énergie fatale

pourrait à terme restreindre les gisements.

Le chauffage des serres peut également être effectué grâce à l'utilisation d'une ressource locale d'énergie comme **l'exploitation de la biomasse** (cf. page 33) qui peut être transformée en chaleur. De la même façon l'exploitant agricole peut poser des **panneaux solaires thermiques** sur ses serres qui lui permettront de produire de la chaleur. L'inconvénient de cette dernière solution est que la chaleur est principalement produite en dehors de la période de chauffe, en été et en journée. Les panneaux solaires thermiques peuvent être couplés à un groupe à absorption à effet simple⁴⁰ qui permettrait de transformer la chaleur en froid lorsque cela est nécessaire. Cette solution permet de réduire de 50 % les besoins en énergies fossiles⁴¹.

En hiver l'attention est portée au chauffage pour apporter les meilleures conditions climatiques aux plantes. En été, les plantes font face à d'autres problèmes, ainsi quelques paramètres sont à prendre en compte pour garantir de bonnes conditions aux plantes que sont la température, la luminosité et le taux d'humidité. En effet, en été les plantes sous serres peuvent souffrir de la chaleur, de la luminosité et d'un manque d'humidité pouvant entraîner des maladies. Pour éviter cela il existe des solutions comme l'ouverture des parois pour ventiler, la pose de bâches pour limiter l'augmentation de la température et l'excès de luminosité ou encore l'arrosage régulier des plantes.

Enfin, la réduction des émissions de GES associées à l'utilisation du gaz pour le chauffage des serres peut être permise grâce au déploiement des pompes à chaleur (PAC). La PAC, troisième énergie renouvelable

Principe d'un groupe à absorption



Source : Schéma du groupe à absorption à effet simple. CITFL

38 [Le défi de l'énergie dans les serres – Région Centre](#)

39 [ADEME, Productions sous serres chauffées](#)

40 Ce système permet de séparer un constituant volatil d'une source de chaleur qui sera ensuite condensé puis détendu pour finir par s'évaporer ce qui produit du froid.

41 [CTIFL, « Peut-on décarboner les serres grâce au solaire thermique ? », 2022](#)

française⁴², fait partie des options à privilégier pour faire des économies d'énergie et de GES puisqu'elle valorise efficacement l'énergie renouvelable présente dans le milieu naturel. En effet, grâce à l'électricité, la PAC capte l'énergie d'une source froide (sol, air environnant, eau d'une nappe phréatique) pour la transformer en chaleur. Cependant, plus l'écart entre la source froide et la température de sortie est élevé plus la consommation d'électricité sera élevée. C'est pourquoi il est préférable de privilégier les types d'émetteurs qui permettent un chauffage à basse ou moyenne température compensé par une grande surface d'échange.

De plus, les PAC ont pour avantage de pouvoir être installées dans l'ensemble des serres du territoire, la seule condition nécessaire étant de bénéficier d'un raccordement au réseau électrique avec une puissance distribuée suffisante.

À titre d'illustration le CTIFL (Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes) dispose depuis 2009 d'une serre chauffée totalement avec une PAC eau/eau pour une production de tomates. Une augmentation des surfaces d'échanges de chaleur dans la serre a été effectuée pour palier la baisse relative de la température entre la chaudière à gaz qui produisait de l'eau à 80°C et la PAC qui produit de l'eau chauffée à 50°C. Cette installation est fortement bénéfique d'un point de vue climatique car la PAC permet de passer d'une énergie hautement émettrice en CO₂^{6q} à une énergie bas-carbone. De plus le CTIFL estime **un retour sur investissement d'en moyenne 9 ans**

permettant au total d'économiser 1 kg de CO₂ par kilo de tomates ce qui revient à une diminution de 75 % par rapport à une serre au gaz naturel⁴³. **Ce changement de vecteur énergétique doit cependant être accompagné d'une solution technique pour l'apport en CO₂ dont nécessite les plantes.** En effet, le taux de concentration en CO₂ dans une serre ayant tendance à baisser du fait de la consommation naturelle des plantes et du manque de renouvellement de l'air extérieur (les ouvrants étant fermés pour garder la chaleur), l'utilisation d'une chaudière au gaz permettait de récupérer une partie du CO₂ généré par la combustion du CH₄ et de l'injecter dans la serre. Le fonctionnement d'une PAC ne produisant pas de CO₂, une solution de remplacement consiste pour l'agriculteur à s'approvisionner en bonbonnes de CO₂ liquide qui serait vaporisé dans la serre selon les besoins. Cette solution implique cependant de développer une filière distribuant ces bonbonnes et de s'assurer que le CO₂ soit produit de la façon la moins carbonée possible. Une autre solution consisterait à valoriser le CO₂ émis par un site industriel à proximité.

Enfin pour maintenir une température suffisamment fraîche en été, la solution privilégiée reste l'ouverture de la serre. Cette solution permet également de répondre aux besoins de CO₂ des plantes.



Principe de fonctionnement d'une PAC

42 [Ministère de la transition écologique, « Chiffres clés de l'énergie - édition 2023 »](#)
 43 [Le projet serre capteur d'énergie, Bilan après 5 ans de travaux, CTIFL](#)

La décarbonation du chauffage des serres aux Pays-Bas

Les Pays-Bas représentent l'un des principaux pays producteurs de fruits et légumes sous serres au monde. Avec des objectifs de décarbonation ambitieux (le pays souhaite se soustraire à l'utilisation de gaz naturel pour chauffer ses serres), les Pays-Bas misent sur le développement d'une énergie bas-carbone : la chaleur géothermique. Ce système de chauffage repose sur le fait de valoriser les calories contenues dans de l'eau chaude captée à plus de 500 mètres sous terre⁴⁴. Son principal avantage est que cette source de chaleur est inépuisable. Enfin, le gouvernement souhaite créer une plateforme commerciale permettant aux serristes de vendre l'énergie qu'ils auraient en trop à ceux qui en nécessiteraient davantage.

L'utilisation d'énergie pour les bâtiments d'élevage

L'énergie consommée par le secteur de l'élevage se répartie entre le carburant utilisé pour les engins agricoles et l'énergie utilisée pour les bâtiments d'élevage. Parmi ces derniers il convient tout d'abord de distinguer les bâtiments utilisés pour les processus liés à l'exploitation de ceux où vivent les animaux. Les bâtiments où vivent les animaux permettent de les protéger des conditions météorologiques parfois extrêmes et ainsi de reproduire des conditions climatiques plus appréciables. Ils ont en ce sens besoin d'énergie pour alimenter les systèmes de chauffage, d'aération et d'éclairage.

La deuxième catégorie de bâtiments regroupe ceux abritant la réalisation d'étapes essentielle à la production agricole comme la traite, le stockage, la conservation du lait ou bien encore le séchage des fourrages.

À l'inverse des serres dans lesquelles l'utilisation des énergies fossiles prédomine, l'énergie principalement utilisée pour le fonctionnement des bâtiments d'élevage est l'électricité.

Une partie de l'énergie utilisée dans les bâtiments d'élevage correspond à du gaz (naturel ou de pétrole liquéfié) utilisé pour chauffer les bâtiments. De la même façon que pour les serres, il est nécessaire de privilégier l'isolation pour limiter les besoins de consommation d'énergie. La récupération de la chaleur fatale, par exemple celle liée à la chaleur dégagée par les animaux eux-mêmes, peut apparaître comme une solution. **Le remplacement de ces systèmes au gaz par des pompes à chaleur apparaît également comme une solution adéquate.**

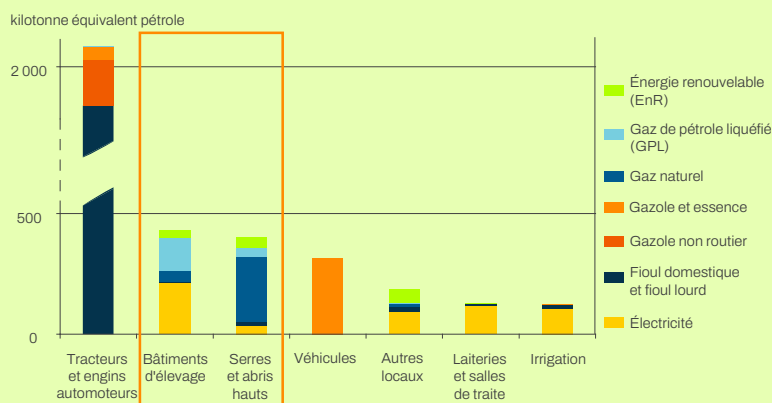
Recommandation 2

Soutenir le déploiement des pompes à chaleur pour décarboner les chauffages des serres et des bâtiments agricoles en créant une bonification de la fiche CEE AGRI-TH-108 relative au déploiement des pompes à chaleur dans les serres.

Recommandation 3

Mettre en cohérence le dispositif des CEE avec l'objectif de réduction des émissions de GES tel que figurant à l'article L .100-4 du code de l'énergie.

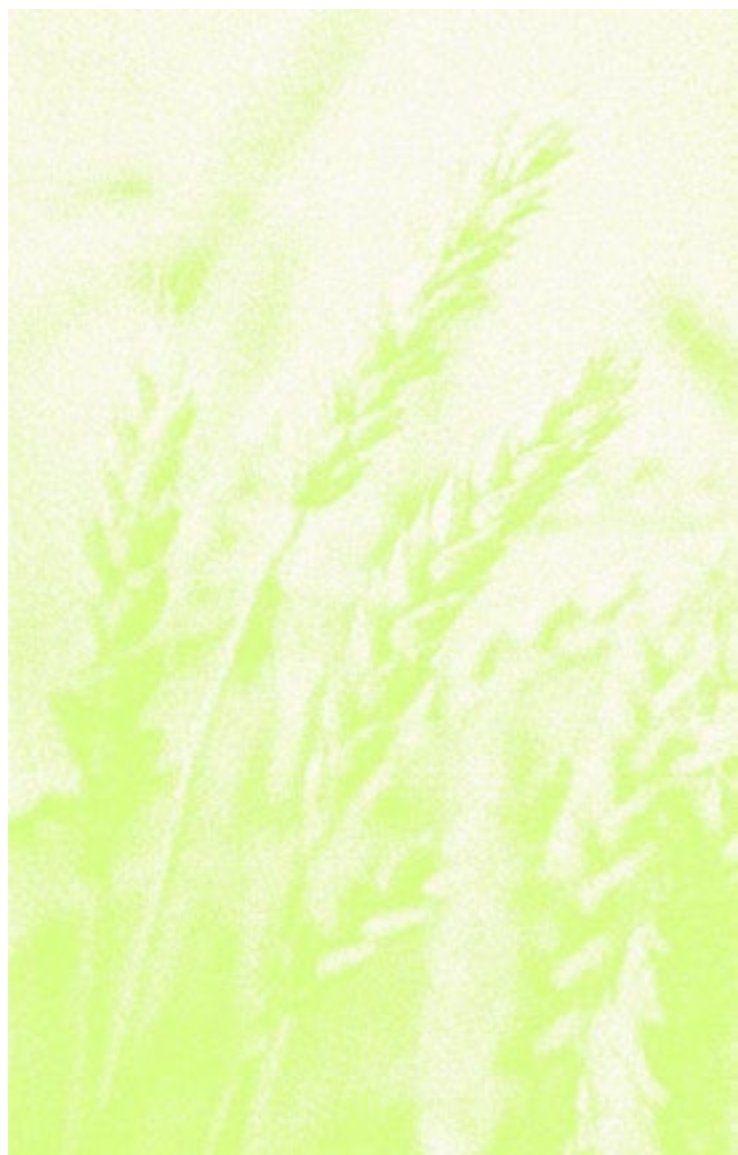
Consommation par type d'énergie pour chaque usage



44 [Government of the Netherland, "Geothermal heat"](#)

L'électrification des usages liés au secteur agricole

Cette section aborde l'électrification des usages agricoles dont les émissions ne sont pas incluses dans le bilan carbone du secteur agricole, bien qu'elles soient en lien avec celui-ci. En effet, le transport de produits agricoles et la production d'engrais sont rendus possibles respectivement grâce à des dérivés du pétrole et au gaz naturel. Ces deux activités reposant donc sur l'utilisation d'énergies fortement émettrices de CO₂, elles justifient ainsi l'intérêt d'étudier les solutions d'électrification pour permettre l'atteinte des objectifs de décarbonation.



Le transport des produits agricoles

En 2021, les émissions liées aux transports représentaient 31 % des émissions nationales⁴⁵. Avec plus 127,6 MtCO_{2éq} émises sur l'année, le transport est le secteur le plus émetteur de GES en France⁴⁶. **Le transport de produits agricoles était particulièrement responsable de 23 % du trafic et de 47 % des émissions du secteur des transports**⁴⁷. Si les produits alimentaires peuvent être acheminés par transport maritime, fluvial, ferroviaire ou aérien, c'est le transport routier qui est à l'origine de plus des trois quarts (83 %) des émissions du transport de produits alimentaires. Finalement, 12,1 % des émissions française sont générées par le transport routier de produits alimentaires.

Afin de réduire ces émissions il est nécessaire de combiner à la fois des solutions de sobriété, en réduisant par exemple la distance de transport des marchandises via une consommation plus locale, et à la fois des efforts de décarbonation des moyens de transport. Deux solutions principales doivent alors être développées pour limiter les émissions du transport routier : le report modal du camion vers le transport ferroviaire ou fluvial d'une part, et le changement d'énergie pour faire rouler les véhicules d'autre part. En 2023, le Gouvernement a en ce sens débloqué une enveloppe de 100 M€ pour soutenir la décarbonation du transport routier de marchandises, pour partie fléchée vers un appel à projet pour l'acquisition de camions électriques (à hauteur de 55 M€) et la mise en place de bornes de recharges spécifiques à ces camions (cf. *infra*)⁴⁸.

Le train de fret, c'est à dire le transport de marchandises par train, est l'un des principaux moyens permettant de décarboner

le transport de marchandises, en cela que le réseau ferré est majoritairement électrifié et donc bénéficie du caractère bas-carbone de l'électricité française. Bien qu'une marchandise transportée par ce moyen de transport émette 9 fois moins de CO₂ par km qu'un poids lourd⁴⁹, la part modale du fret diminue depuis de nombreuses années (30 % en 1984 contre 9 % en 2018)⁵⁰. **Le transport fluvial a lui aussi son rôle à jouer puisqu'il représente également un moyen de transporter de gros volumes sur l'ensemble du territoire et présente un fort potentiel de bascule de ses moyens de propulsion fossiles vers des énergies bas-carbone comme l'électricité.** Le transport routier de marchandise émet ainsi actuellement 100 g de CO₂/t-km parcourue contre 10 g pour le ferroviaire et 30 g pour le fluvial⁵¹.

Enfin pour les trajets routiers qui ne peuvent se substituer, l'électrification des poids lourds, ainsi que des véhicules utilitaires légers (VUL) comporte également de nombreux avantages. Le premier est la réduction des émissions de GES comparé aux poids lourds thermiques. La construction du véhicule et de ses batteries ainsi que la production d'électricité consommée par les véhicules sont les uniques sources d'émissions de CO₂ et sont beaucoup plus faibles que celles des véhicules thermiques. Cette décarbonation peut ainsi atteindre jusqu'à -85 % pour un camion électrique par rapport un camion thermique⁵². Quant à l'acheminement des marchandises sur les derniers kilomètres au sein des centres villes ou dans les lieux inaccessibles aux poids lourds, elle peut s'opérer grâce à des vélo cargo à assistance électrique ou des VUL électriques ou à hydrogène. Ces solutions possèdent l'avantage d'être

45 [Citepa, Rapport Secten 2023](#)

46 [Ministère de la transition écologique, Chiffres clés des transports, mars 2022](#)

47 L'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation en France, IDDRI. Ces données datent de 2019, on fait l'hypothèse que l'ordre de grandeur est le même en 2021.

48 [Ministère de l'économie des finances et de la souveraineté industrielle et numérique, « Industrie : de nouveaux soutiens pour accélérer la décarbonation du secteur des transports », 2023](#)

49 [Les atouts du mode ferroviaire, SNCF, 2021](#)

50 [Autorité de régulation des transports, « Le marché français du transport ferroviaire de marchandises », 201](#)

51 [Ministère de la transition écologique, « Les coûts environnementaux du transport maritime domestique de marchandises », 2022](#)

52 [Carbone 4, « Camion électrique : il est temps d'embrayer sur la logistique urbaine », 2022](#)

développées à un stade plus avancé que celles pour les poids lourds. L'ensemble de ces véhicules ont également le double avantage de réduire la pollution de l'air et la pollution sonore.

De même que pour les tracteurs et engins électriques, les progrès techniques en cours dans la conception de batteries à plus forte densité énergétique devraient permettre de lever le frein relatif au besoin de puissance élevé des poids lourds. Par ailleurs, le principal problème est le manque de bornes adaptés disponibles. Les camions peuvent utiliser des bornes de recharge de plus faibles puissances mais le temps de recharge serait alors allongé. C'est pourquoi l'utilisation de poids lourds électrique n'est réalisable que si la production de ces poids lourds est accompagnée de la mise en place de bornes de recharges spécifique à ces véhicules. D'après l'ACEA, il faudrait installer pour l'union européenne entre 40 000 et 50 000 points de recharge d'une puissance de plus de 500 kW (très haute puissance), et 40 000 bornes d'une puissance de 100 kW d'ici 2030.

● **Recommandation 4**

Planifier et soutenir la bascule du transport des produits agricoles depuis les poids lourds fonctionnant avec des énergies fossiles vers des moyens de transport bas-carbone comme le fret, le transport fluvial et les poids lourds électriques.



La production d'engrais bas-carbone

Massivement utilisés par les agriculteurs pour compléter les apports nutritifs des plantes et ainsi multiplier leurs rendements, la production et l'utilisation d'engrais était responsable de 5 % des émissions mondiales de GES en 2020⁵³.

Afin de comprendre l'impact des engrais sur l'environnement et sur le climat, il est nécessaire de s'intéresser à leur composition qui varie selon les besoins de la plante et de la composition du sol. Les engrais peuvent ainsi être soit minéraux, c'est-à-dire synthétisés par l'industrie, soit organiques en utilisant les déchets organiques comme le fumier par exemple. En France, **64 % des engrais commercialisés sont minéraux** (11,5 millions de tonnes) et **36 % sont organiques** (6,5 millions de tonnes)⁵⁴.

Dans les deux cas, les engrais sont principalement constitués de trois éléments de base dit « macronutriments » qui stimulent la croissance des plantes :

- L'azote (N) qui est naturellement présent dans les sols, agit sur la pousse des branches et des feuilles. La production d'azote est source d'une grande partie des émissions de CO₂ ;
- Le phosphore (P) qui permet la croissance des racines et la résistance aux maladies ;
- Le potasse (composé de potassium K) qui favorise le développement des fleurs puis des fruits.

À ces trois éléments viennent s'ajouter des éléments secondaires comme le calcium (Ca), le magnésium (Mg) ou encore le soufre (S) ainsi que des oligo-éléments tels que le fer (Fe) ou le cuivre (Cu) qui favorisent également le développement de la plante.

La sobriété et l'efficacité pour limiter les émissions de N₂O

L'épandage, c'est-à-dire la pulvérisation des engrais dans les champs est la première source d'émission de GES liée aux engrais.

En effet la diffusion des engrais (émissions directe) et les différentes réactions de nitrification/dénitrification⁵⁵ (émissions indirectes) qui ont lieu par la suite sont à l'origine des émissions de N₂O. Afin de réduire cet impact, plusieurs solutions existent. Ainsi, il est tout d'abord possible de réduire l'utilisation d'engrais de 20 % à 25 % sans diminuer le rendement, en optimisant l'épandage⁵⁶. Le choix de l'engrais, de la dose, de l'épandeur et de la période d'épandage sont des paramètres importants à prendre en compte pour minimiser le volume de N₂O émis, de même que le bon réglage de l'épandeur. C'est pourquoi, en 2015, la France s'est fixée pour objectif de diminuer la consommation d'engrais azotés de synthèse de 30 kg par hectare, c'est-à-dire une baisse de 30 %, à horizon 2030 par rapport à 2010. La deuxième solution pour limiter les émissions de N₂O est l'augmentation de la production de légumineuses comme les haricots ou les lentilles. En effet, **les légumineuses sont capables d'absorber l'azote naturellement présent dans l'air et de fixer cet élément dans le sol** contrairement aux cultures prédominantes en France que sont les céréales (blé, maïs...). Effectuer une rotation des cultures en cultivant des légumineuses permettrait ainsi de réduire la quantité d'engrais utilisée pour les cultures suivantes. Dans le cas d'une rotation des cultures sur cinq ans, les émissions de GES pourraient diminuer de 11 % à 16 %⁵⁷. Néanmoins, cette solution n'est pérenne que si la production de légumineuse trouve un débouché durable, c'est-à-dire si son développement est encouragé par un changement de régime alimentaire des consommateurs.

53 [Nature Food, février 2023](#)

54 [Notre-environnement.gouv.fr, 2019](#)

55 Ce sont deux processus qui composent le cycle de l'azote transformant l'ammoniac en nitrate (nitrification) et le nitrate en diazote (dénitrification).

56 [INRAE, "Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ?", juillet 2013](#)

57 [Futura, « L'agriculture est une spécialiste du protoxyde d'azote »](#)

La production d'engrais bas-carbone pour limiter les émissions de CO₂

Pour créer un engrais minéral, l'azote est le composant nécessitant une attention particulière. Naturellement présent dans l'air à hauteur de 78 %⁵⁸, une grande partie des plantes cultivées en France ne peuvent pas directement l'absorber. Les engrais azotés sont donc composés d'ammoniac (dérivé de l'azote, de formule NH₃) qui nécessite de fixer l'azote présent dans l'air grâce à l'hydrogène pour être fabriqué. Afin de produire l'hydrogène qui servira à la fabrication d'engrais, la France, comme de nombreux pays, utilise aujourd'hui uniquement du gaz naturel.

La production d'hydrogène via l'électrolyse de l'eau constitue la principale source d'hydrogène décarboné, à condition que l'approvisionnement en électricité des électrolyseurs soit renouvelable ou bien que le mix électrique du pays dans lequel se situe l'installation soit bas-carbone⁵⁹. Au-delà des économies d'émissions de GES que présente cette solution, la production d'engrais par électrolyse sur le sol national permettrait de réduire la dépendance énergétique induite par cette production car les engrais importés représentent plus de la moitié des engrais consommés en France.

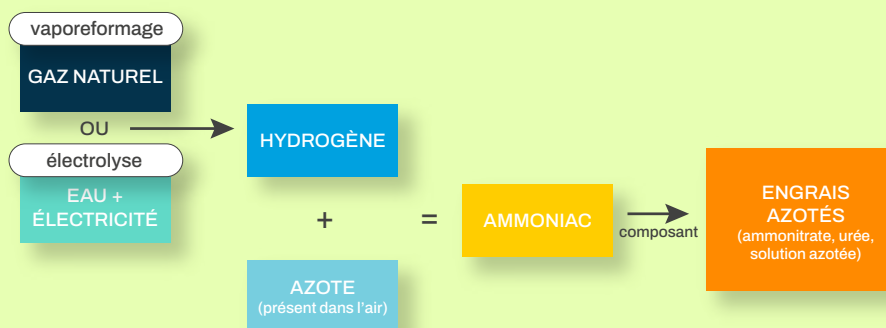
En France, il existe quatre sites de production d'engrais qui produisent sur place leur propre

engrais azotés⁶⁰. Or, ces usines utilisent la technique du vaporeformage du méthane pour produire de l'hydrogène et ainsi de l'ammoniac. Ces sites sont ainsi classés parmi les cinquante sites les plus émetteurs de GES en France avec au total 2,5 Mt de CO₂ émis par an⁶¹. Pourtant la production d'engrais azotés de ces sites ne répond qu'à environ un tiers de la demande française d'engrais minéraux⁶².

Dans ce contexte, la production d'hydrogène par électrolyse émerge comme une solution pour limiter les émissions de ces sites.

Cependant cette solution présente des limites car d'autres procédés industriels sur le site nécessitent de la vapeur, qui aujourd'hui est produite lors du vaporeformage du gaz. **Produire de l'hydrogène par électrolyse suppose donc de trouver une source de vapeur alternative pour les autres procédés du site.** À titre d'illustration, le projet d'engrais décarbonés porté par Borealis et Hynamics en Alsace avec l'installation d'un électrolyseur d'une capacité de 50 MW permettrait de décarboner 15 % de la production d'engrais et d'éviter environ 50 kt de CO₂ par an. Ce projet peut voir le jour sans nécessiter l'arrêt de l'usine car 85 % de la production se ferait toujours par vaporeformage et permettrait ainsi de produire une quantité de vapeur suffisante pour les répondre aux autres usages. En revanche **pour atteindre le seuil de 100 % d'hydrogène décarboné il faudrait mettre l'usine à l'arrêt le temps d'installer une source alternative de vapeur.**

Production d'engrais azotés minéraux à partir d'hydrogène



58 [Fédération des Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air](#)

59 Pour plus d'informations voir [UFE « La France à l'avant-poste de la lutte contre le réchauffement climatique grâce à son hydrogène décarboné », novembre 2021](#)

60 Il existe d'autres sites de production d'engrais mais ces sites importent l'ammoniac.

61 [Hynamics](#)

62 [La tribune, « Agriculture : les prix du gaz pénalisent les engrais les moins polluants. »](#)

A l'international, l'entreprise norvégienne Yara, premier producteur d'engrais azotés au monde et qui possède un site de production en France, développe de son côté un autre projet d'engrais décarbonés. De la même façon, l'entreprise produit de l'hydrogène décarboné grâce à l'électricité provenant d'une source d'énergie renouvelable. L'ambition de Yara est une production de 30 % de ses engrais par électrolyse d'ici 2030 grâce à l'ensemble de ses sites.

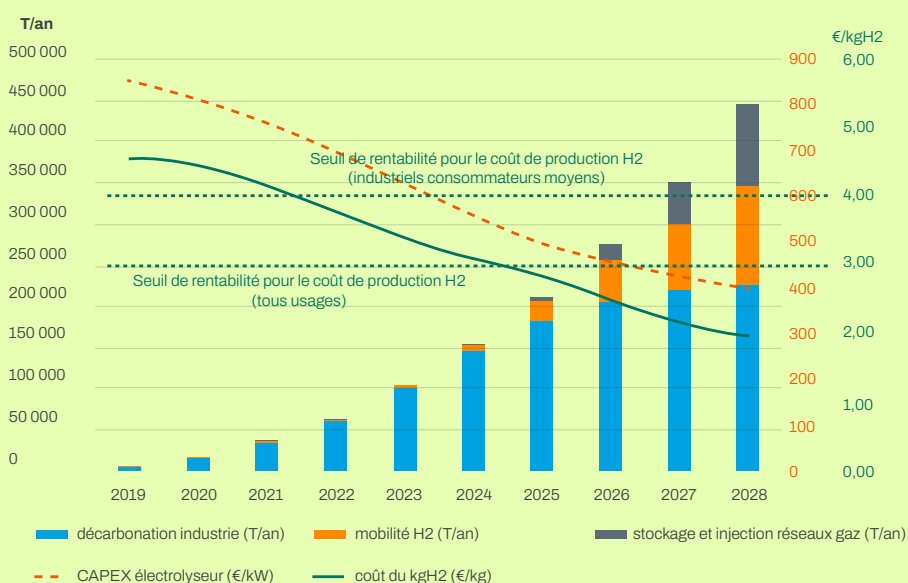
Le soutien à la production d'engrais bas-carbone

Au-delà des enjeux techniques restant à résoudre, produire des engrais bas-carbone nécessite de mobiliser les capitaux publics et privés sur le long terme pour permettre à une véritable filière française de l'hydrogène décarboné d'émerger. En effet, le principal frein à son développement reste son prix, encore 2 à 4 fois plus élevé pour l'hydrogène électrolytique que pour l'hydrogène produit par vaporeformage de méthane (4 à 6 €/kgH₂ contre 1,5 à 2 €/kgH₂)⁶³. Cependant, les différentes aides mises en place, associées aux effets d'échelle et d'apprentissage ainsi qu'aux progrès technologique (comme l'augmentation des rendements et de la puissance des électrolyseurs) devraient

permettre de progressivement réduire les coûts d'investissement. L'hydrogène décarboné produit par électrolyse pourrait ainsi devenir compétitif avec l'hydrogène « conventionnel » à horizon 2030 lorsque son coût de production avoisinera les 2 ou 3 €/kgH₂.

Afin de soutenir cette filière, le code de l'énergie prévoit la mise en place d'un dispositif de soutien à la production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone produit par électrolyse⁶⁴. Les candidats seront sélectionnés d'après plusieurs critères comme le prix de l'hydrogène produit et les émissions de GES évitées. En complément de ce dispositif, l'appel à projets « Écosystèmes territoriaux hydrogène » permet de soutenir la création d'infrastructures de production ou de distribution de petite taille ainsi que l'achat de véhicules à hydrogène. Bien qu'essentiels au développement de la filière hydrogène, ces dispositifs ne flèchent pas l'hydrogène décarboné produit vers le secteur des engrais qui pourrait donc souffrir de la concurrence d'autres secteurs fortement demandeurs de cette molécule dans l'industrie ou le transport.

Baisse du coût de l'hydrogène en fonction des volumes de production H2 par usage et de la baisse du CAPEX des électrolyseurs liée aux puissances annuelles fabriquées



Source : Ministère de la transition écologique ; Plan déploiement hydrogène

63 [Entreprise.gouv.fr](https://www.entreprise.gouv.fr), « stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France », 2023

64 Art. L812-2 du code de l'énergie

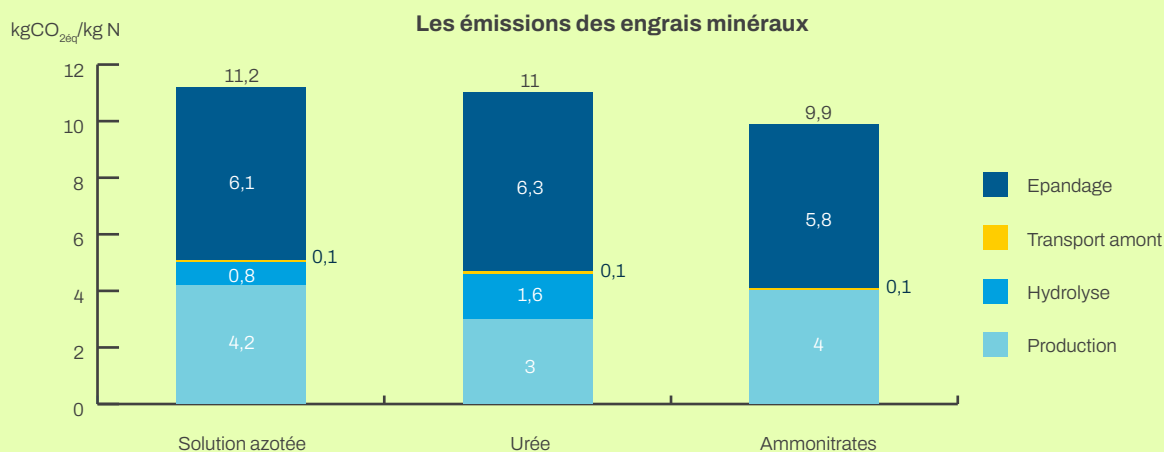
Ainsi, dans l'optique de donner un signal clair de décarbonation au secteur des engrais tout en permettant de combler le différentiel de prix entre engrais carboné et engrais bas-carbone, le prix européen du carbone pourrait constituer une solution. Néanmoins, l'augmentation du prix du CO₂ n'étant pas sans effet sur le prix de l'électricité sur le marché européen cela renchérirait, certes de façon moindre, le coût de l'électricité utilisée pour l'électrolyse. **Par conséquent, il pourrait être pertinent d'étudier la mise en place d'un nouveau mécanisme fiscal qui prendrait en compte l'ensemble des émissions en analyse de cycle de vie des engrais et qui permette d'actionner le levier le plus efficace de décarbonation.**

Dans un tel mécanisme, les redevables de la taxe seraient les distributeurs d'engrais. Cette disposition aurait pour avantage de couvrir également les engrais importés qui représentent plus de la moitié des engrais consommés en France et de ne pas pénaliser les agriculteurs. En effet, l'absence d'élasticité prix sur les engrais s'est récemment illustrée à la suite du déclenchement de la guerre en Ukraine : malgré une hausse conséquente de leurs prix, la consommation d'engrais est cependant restée stable, grevant les budgets des agriculteurs. Comme illustré sur le schéma ci-dessous, la taxe ne serait redevable qu'en cas de dépassement d'un seuil de déclenchement, exprimé en CO_{2eq} par tonne d'azote et prenant en compte les émissions des engrais sur tout leur cycle de vie. Dans le cas où le seuil serait dépassé, les distributeurs auraient le choix entre payer la taxe ou acheter des crédits auprès de distributeurs plus vertueux qui auraient

vendus des engrais sous le seuil. Ce dispositif permettrait ainsi de créer un flux financier vertueux permettant d'auto-financer la décarbonation du secteur des engrais. Enfin, le choix du seuil carbone serait primordial, d'une part car ce mécanisme n'aurait pas pour but que la taxe soit payée mais plutôt qu'un maximum de crédits soit échangé et, d'autre part, car il permettrait de cibler finement la production d'engrais importée au lieu de la production nationale (la production d'urée importée émet plus de GES sur son cycle de vie que la production d'ammonitrate sur le sol national).

Recommandation 5

Mettre en place un mécanisme permettant de favoriser l'achat d'engrais bas-carbone fabriqués en France.

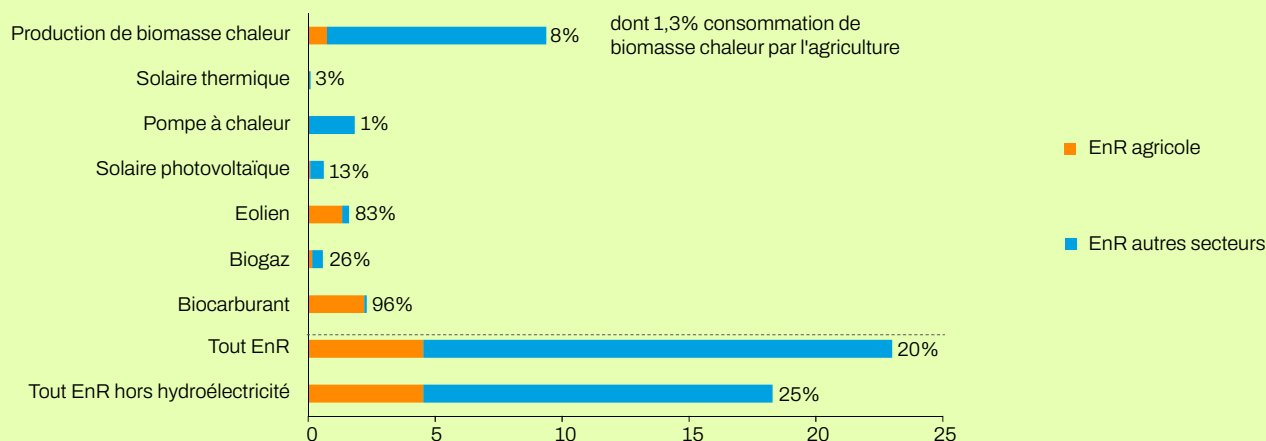


La production d'énergie bas-carbone dans l'agriculture

En 2015, l'agriculture a consommé 53,5 TWh d'énergie mais en a produit dans le même temps la même quantité, entièrement d'origine renouvelable et correspondant ainsi à 20 % de la production nationale d'énergie renouvelable⁶⁵.

La partie suivante est consacrée à l'analyse des différentes technologies permettant de produire de l'électricité sur terrain agricole : la biomasse, l'agrivoltaïsme et l'éolien.

Part agricole dans la production nationale d'EnR



Source : ADEME ; Agriculture et énergies renouvelables ; Contribution et opportunités pour les exploitations agricoles (2017)

⁶⁵ ADEME, Rapport : Agriculture et efficacité énergétique, 2019

La biomasse

Définition

Le code de l'énergie définit la biomasse comme « la fraction biodégradable des produits, des déchets et des résidus d'origine biologique provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales, de la sylviculture et des industries connexes, y compris la pêche et l'aquaculture, ainsi que la fraction biodégradable des déchets, notamment les déchets industriels ainsi que les déchets ménagers et assimilés lorsqu'ils sont d'origine biologique »⁶⁶. **Cette source d'énergie bas-carbone qui peut être sous forme solide, liquide ou gazeuse représentait en 2020 55 % de la production d'énergie renouvelable et joue un rôle majeur dans l'atteinte de la neutralité carbone**⁶⁷. Aujourd'hui le secteur agricole produit 40 TWh⁶⁸ d'énergie à partir de biomasse, comparativement à un potentiel de 250 TWh d'après la Stratégie Nationale Bas-carbone (SNBC)⁶⁹. Pour atteindre cette production, la récupération des déchets et l'adaptation des types de cultures sont deux leviers d'actions importants.

Dans l'agriculture les sources de biomasse sont principalement des déchets issus des cultures et de l'élevage.

C'est pourquoi la biomasse présente trois avantages majeurs. Premièrement c'est une énergie renouvelable car elle permet de revaloriser les déchets organiques (résidus de culture, plantes, bois, restes d'animaux). Ensuite, contrairement à d'autres énergies renouvelables, sa production varie peu tout au long de l'année. Enfin, comme vu précédemment, l'hypothèse de la neutralité carbone de la biomasse suppose que les émissions émises par cette dernière sont compensées par les émissions captées au cours de la vie des plantes. Cette hypothèse n'est valable qu'accompagnée d'une bonne gestion des ressources.

La biomasse peut ainsi se substituer à plusieurs énergies fossiles via sa transformation en chaleur, électricité, biogaz ou biocarburants. Cette transformation peut avoir lieu suivant plusieurs procédés :

- **La combustion**, qui consiste à brûler la biomasse et à récupérer cette chaleur pour alimenter un réseau de chaleur et/ou une turbine permettant de produire de l'électricité

Ressources agricoles utilisées pour la biomasse

Agriculture

- **CULTURES ANNUELLES**
Céréales, oléagineux, cultures industrielles
- **RÉSIDUS DE CULTURES ANNUELLES**
Pailles de céréales, d'oléagineux, de protéagineux, cannes de maïs, fanes de betteraves, menues pailles
- **EFFLUENTS D'ÉLEVAGE**
Fumier, lisier
- **CULTURES INTERMÉDIAIRES**
Cultures d'été et d'hiver
- **CULTURES DÉDIÉES**
Miscanthus, taillis à courte rotation
- **PLANTES À FIBRES**
Lin, chanvre
- **RÉSIDUS DE CULTURES PÉRENNES**
Bois d'entretien de vignes et vergers
- **ISSUES DE SILOS**
Issues de plateformes de stockage de grains
- **PLANTES À PARFUM**
Lavande, lavandin
- **SURPLUS D'HERBES**
Prairies, surfaces toujours en herbe
- **AGROFORESTERIE**
Haies et alignements d'arbres

66 [Art. L211-2 du code de l'énergie](#)

67 [Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, Biomasse énergie, 2020](#)

68 [France stratégie, « Biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel ? », 2021](#)

69 [France stratégie, « Biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel ? », 2021](#)

(lorsque les deux productions ont lieu en même temps le processus est qualifié de « cogénération »).

- **La gazéification**, qui est une réaction entre le carbone de la biomasse et des gaz qui permet d'obtenir du gaz combustible qui passe dans un moteur à combustion pour être transformé en énergie mécanique, en électricité ou en biocarburants⁷⁰.
- **La pyrolyse**, qui a pour principe la décomposition des matières carbonées sous l'effet de la chaleur afin de produire de l'huile pyrolytique⁷¹, du charbon ou du gaz.
- **La méthanisation**, qui consiste en une dégradation de la matière organique par des bactéries, générant ainsi un biogaz composé de CO₂ et de CH₄. Ce biogaz peut ensuite être utilisé tel quel pour produire de l'électricité. Il peut également être injecté dans le réseau public de gaz naturel sous réserve d'être d'abord épuré et odorisé (il prend alors le nom de biométhane).

La production d'électricité à partir de la biomasse

La biomasse est généralement utilisée pour la génération de chaleur, mais il existe un deuxième processus nommé **cogénération qui permet de combiner la production de chaleur et d'électricité**. Aujourd'hui, la France compte 2 GW de capacité installée produisant 10 TWh d'électricité par an, soit 2 % de la production française⁷². La première étape de production d'électricité par une centrale biomasse consiste

en **la conversion de la biomasse en vapeur**.

Il existe plusieurs méthodes pour cette étape qui ont été listées précédemment (combustion, gazéification et méthanisation). Une fois la vapeur créée, elle est utilisée pour faire tourner une turbine qui permet à l'alternateur de produire de l'électricité. La vapeur est ensuite récupérée pour servir de moyen de chauffage.

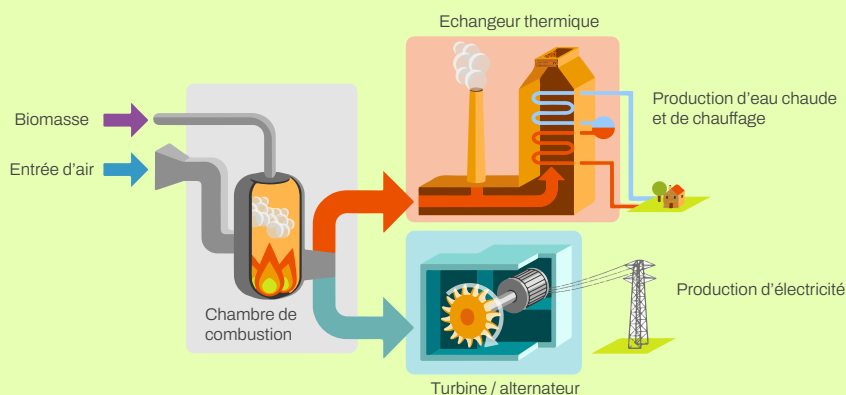
Bien que la cogénération permette de limiter de 15 à 20 % la consommation d'énergie primaire comparée à une production séparée de la chaleur et de l'électricité⁷³, ce procédé peine à se développer. En effet, la concurrence avec d'autres énergies et à la disponibilité de la biomasse sont les freins majeurs. **La reprise d'un appel d'offres sur la production d'électricité à partir de la biomasse peut en ce sens constituer une option pour dynamiser la filière**⁷⁴. Ce dispositif permettrait d'assurer aux agriculteurs un tarif de rachat pour l'électricité produite par la cogénération.

La biomasse est ainsi une excellente solution pour produire de l'électricité. Il faut toutefois prendre en compte la contrainte majeure de ce processus : la matière première étant principalement des déchets issus de l'agriculture, elle n'est pas infinie, il y a donc une contrainte de quantité de production.

Recommandation 6

Interroger la pertinence de la mise en place un appel d'offres pour la production d'électricité via la biomasse.

Le processus de la cogénération (à partir de biomasse)



Source : EDF

70 Il existe deux types de biocarburants, le diester (utilisé pour les moteurs gazole) et le bioéthanol (utilisé pour les moteurs diesel). Ils sont formés à partir de plantes, colza, tournesol et soja pour le diester et canne à sucre ou betterave pour le bioéthanol.

71 Cette huile peut constituer une alternative aux carburants traditionnels.

72 RTE, *Futurs énergétiques 2050 – La production d'électricité*, juin 2022

73 Ministère de la transition écologique, 2020

74 Le dernier appel d'offres sur l'électricité grâce à la biomasse s'est terminé en 2019.

L'agrivoltaïsme

Pour produire de l'électricité renouvelable en milieu agricole, il existe un deuxième moyen, l'agrivoltaïsme, qui consiste en la pose de panneaux photovoltaïques sur terrain agricole (champs, serres, bâtiments, etc.).

Définition

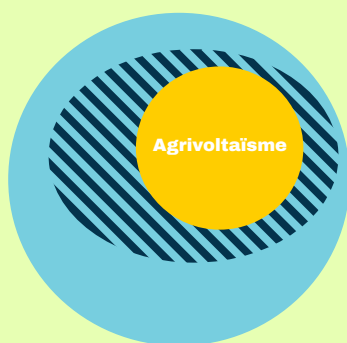
Il existe deux types d'installations distinctes couplant production agricole et production photovoltaïque : **les installations compatibles avec la production agricole, pastorale ou forestière** et, parmi les installations compatibles avec la production agricole, **les installations agrivoltaïques**.

Les installations agrivoltaïques se différencient des autres installations par la synergie qui existe entre les deux productions. En effet, afin d'être considérées comme agrivoltaïques, les centrales photovoltaïques doivent être utilisées **au service de l'agriculture**, c'est-à-dire qu'elles sont utiles à la production agricole.

En mars 2023, un premier cadre légal est apporté à cette notion d'agrivoltaïsme. En effet, la loi n° 2023-175 du 10 mars relative à l'accélération de la production d'énergie renouvelables, dite loi AER, dispose en son article L. 314-36⁷⁵, « **une installation agrivoltaïque est une installation**

de production d'électricité utilisant l'énergie radiative du soleil et dont les modules sont situés sur une parcelle agricole où ils contribuent durablement à l'installation, au maintien ou au développement d'une production agricole ».

Différents couplages entre photovoltaïque et agriculture



- Installations photovoltaïques compatibles avec l'exercice d'une activité agricole, pastorale ou forestière
- Installations photovoltaïques compatibles avec l'exercice d'une activité agricole

75 Codifié depuis au Code de l'énergie à l'article L. 314-36

Il existe différentes installations agrivoltaïques, celle-ci dépendent du type d'activité agricole du terrain sur lesquelles elles sont implantées :

<p>CENTRALES AU SOL (Élevage⁷⁶, culture plein air⁷⁷)</p>	<p>Les panneaux photovoltaïques sont posés au sol, légèrement surélevés pour permettre la production agricole.</p>
<p>OMBRIERE FIXES (Pisciculture, culture plein air)</p>	<p>Les panneaux photovoltaïques reposent sur une structure fixe en hauteur permettant le passage des engins agricoles.</p>
<p>OMBRIERES MOBILES (Pisciculture, culture plein air)</p>	<p>Les panneaux photovoltaïques sont posés sur une structure motorisée appelée « traqueur » qui suit la course du soleil.</p>
<p>SERRE PHOTOVOLTAÏQUE (Serres agricoles)</p>	<p>Les panneaux sont installés sur le toit de la serre, une structure semi-transparente destinée à laisser passer la lumière tout en favorisant l'humidité.</p>
<p>PANNEAUX BIFACIAUX VERTICAUX (Élevage, culture en plein air)</p>	<p>Les panneaux sont placés perpendiculairement au sol, en rangées espacées d'environ 15 mètres permettant aux engins agricoles de circuler normalement. Généralement orientés est/ouest, ils permettent une production d'électricité le matin et le soir et donc de mieux correspondre aux pics de demande. L'avantage de cette méthode, encore à un stade expérimental en France, est de limiter la surface occupée par l'installation.</p>

76 Bétail (bovins ou ovins)

77 Grandes cultures (céréales, certains légumes, oléagineux etc.), viticulture et arboriculture (pommiers, poiriers etc.)

Avantages

- Pour l'agriculteur :

Comme l'indique la définition législative, pour être considéré comme agrivoltaïque une centrale photovoltaïque doit être au service de la production agricole. En ce sens, **le principal avantage des panneaux étant de protéger les parcelles des fortes chaleurs**, les projets agrivoltaïques sont essentiellement déployés dans le sud de la France où l'ensoleillement est plus important. Les panneaux permettent également de protéger les récoltes des autres aléas climatique comme le gel. Néanmoins la présence de panneaux crée de l'ombre qui réduit la photosynthèse et par la suite la production. Les rendements sont alors légèrement inférieurs en cas de bonnes conditions climatiques mais sont préservés en cas de mauvaises (contrairement à une parcelle sans panneaux). **Ainsi, les rendements sont plus réguliers d'une année sur l'autre et les agriculteurs ne subissent pas de grosses pertes en cas d'aléa climatique.**

- Pour l'environnement :

L'impact majeur de l'agrivoltaïsme sur l'environnement est la contribution à la réduction des émissions de GES. En effet, les projets agrivoltaïques permettent l'augmentation de la production d'électricité bas-carbone et donc la réduction de l'utilisation d'énergies fossiles⁷⁸.

Concernant l'impact sur les sols, **l'agrivoltaïsme ne participe que faiblement à l'artificialisation des sols du fait de sa structure dont l'utilisation de béton est minime voire nulle.** De plus ces installations peuvent être posées sur des surfaces déjà artificialisées (serres ou bâtiments agricoles) ainsi la densité de surface artificialisée est de 0,09 ha/MW dont 0,002 ha/MW⁷⁹ de surface imperméabilisée⁸⁰.

L'avenir de la filière

Le nombre de projets agrivoltaïques augmentera très probablement dans les prochaines années, en réponse à un double enjeu de diminution des émissions nationales de GES ainsi que d'adaptation de la filière agricole aux conséquences du changement climatique. Ainsi, alors que les projets sont aujourd'hui pour la plupart déployés dans le sud

de la France, les terres agricoles situées au nord pourraient nécessiter par exemple de plus en plus d'installations agrivoltaïques pour les protéger du soleil.

L'avenir de la filière de production photovoltaïque en milieu agricole dépendra quant à elle en grande partie de la publication du décret d'application de la loi AER devant faciliter la mise en place des projets agrivoltaïques et de sa bonne appropriation par l'ensemble des acteurs. Paradoxalement, le décret pourrait augmenter le temps d'instruction des projets agrivoltaïques pour s'assurer de leur éligibilité, augmentant ainsi le temps de réalisation d'une centrale mais surtout limitant fortement le nombre de projet de couplage.

Dans le but de produire plus d'énergie bas-carbone, **il serait opportun de privilégier les projets agrivoltaïques sans interdire la mise en place d'installations photovoltaïques qui ne nuisent pas à la production agricole.** Pour autoriser ces simples couplages (et non synergies) sans mettre en danger la pérennité du métier d'agriculteur, les autorisations de projets pourraient se faire au cas par cas, en s'assurant notamment du maintien de l'activité agricole.

Aides financières

Pour permettre de financer les projets agrivoltaïques et de garantir leur rentabilité, il existe un mécanisme de soutien aux énergies renouvelable : les appels d'offres (AO) émis par la Commission de Régulation de l'Energie (CRE).

Des projets agrivoltaïques sont mis en concurrence avec d'autres projets photovoltaïques pour bénéficier d'un complément de rémunération⁸¹ (à titre d'illustration les projets agrivoltaïques lauréats du dernier appel d'offres ont obtenu un prix d'environ 100 €/MWh). À ce jour, il existe deux AO auxquels les porteurs de projets agrivoltaïques peuvent répondre. Le premier concerne les centrales sur bâtiments, serres agrivoltaïques, hangars, ombrières et ombrières agrivoltaïques de puissance supérieure à 500 kWc. Le second concerne les centrales au sol de puissance comprise entre 500 kWc et 30 MWc pour les projets compatibles avec l'activité agricole dont font partie les projets

78 Pour plus d'informations, voir OIE, « [Le couplage des marchés européens de l'électricité](#) »

79 RTE, « [Futurs énergétiques horizon 2050](#) », 2021

80 Dont les matériaux artificiels ne laissent passer ni eau, ni air.

81 Pour plus d'informations, voir OIE, « [Le fonctionnement des mécanismes de soutiens aux énergies renouvelables en France](#) ».

agrivoltaïques.

Cependant les coûts d'installation d'une centrale agrivoltaïque sont particulièrement élevés, ces projets ont donc du mal à concurrencer les autres projets photovoltaïques. Pour pallier ce problème, **la mise en place d'appel d'offres spécifique aux installations agrivoltaïques** est une solution.

Les producteurs agrivoltaïques ont également la possibilité d'avoir recours à des Power Purchase Agreement (PPA) pour vendre leur électricité. Dans ce contrat de gré à gré, le prix de rachat de l'électricité par une entreprise est fixé pour toute la durée du contrat⁸².

Enfin les producteurs ont également la possibilité d'utiliser l'électricité photovoltaïque produite en **autoconsommation** pour leur usages habituels ou pour accompagner l'électrification de leur ferme (chauffage des serres et autres bâtiments agricoles ou recharge des engins agricoles électriques).

● **Recommandation 7**

Étudier la pertinence de la mise en place d'un appel d'offres spécifique à l'agrivoltaïsme, à la suite d'un retour d'expérience de l'application du décret agrivoltaïsme.



82 Pour plus d'informations, voir OIE, « [Corporate PPA](#) » : fonctionnement et modalités contractuelles », novembre 2019

L'éolien

En 2020, la production d'énergie éolienne sur terrain agricole représentait 83 % de la production d'énergie éolienne totale, c'est-à-dire 15,6 TWh⁸³. Le secteur agricole est donc un secteur clé pour le développement de ce moyen de production d'électricité renouvelable nécessaire à l'atteinte de la neutralité carbone.

Le principe d'une éolienne repose sur le fait de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. En effet, le vent fait pivoter les pales et donc le rotor de l'éolienne qui est relié à un générateur, ce dernier transforme cette énergie mécanique en courant électrique ensuite injecté dans le réseau. La puissance des générateurs augmente avec la taille de l'éolienne. Une éolienne terrestre⁸⁴ peut être installée sur un terrain agricole, et sa production d'électricité dépendra de l'exposition du site au vent (une éolienne de 2 MW produit en moyenne 4 200 MWh par an, soit la consommation de 800 ménages par an⁸⁵). En France, la puissance des éoliennes terrestres installées est comprise entre 2 et 4,5 MW avec un diamètre de rotor compris entre 75 et 150 m et mesure entre 100 et 200 m⁸⁶.

Avantages

Le premier avantage au déploiement de cette énergie pour le secteur agricole est un **avantage financier** puisque les installations fournissent un revenu complémentaire aux agriculteurs et aux propriétaires qui souhaitent louer leurs terrains. L'installation d'une éolienne sur terrain agricole pourrait ainsi rapporter à l'agriculteur et au propriétaire entre 2 000 € et 3 000 € par MW par an, somme généralement partagée de façon équivalente entre les deux acteurs⁸⁷. Cet avantage économique est procuré sans mobiliser une surface trop importante du terrain et permet ainsi

de limiter la réduction de la production agricole.

L'installation d'éoliennes domestique (ou petit éolien) peut également être intéressante si l'agriculteur souhaite utiliser l'électricité produite en **autoconsommation**. Une éolienne pourrait notamment assurer une partie des besoins d'énergie électriques pour le chauffage, l'éclairage et la ventilation des bâtiments agricoles ou des serres. Une éolienne domestique (dite « petite éolienne ») peut produire 15 MWh/an⁸⁸.

Enfin l'éolien n'entraîne pas de conflits des sols avec les agriculteurs puisque l'activité agricole peut continuer autour de la machine. En effet, seules les fondations en béton et les aires de servitudes participent à l'artificialisation des sols (0,15 ha/MW⁸⁹) et ainsi empêchent la surface d'être exploitée.

Règlementations et aides financières

Pour soutenir le développement des parcs éoliens, notamment en terrain agricole, le gouvernement a mis en place des appels d'offres comme pour la filière photovoltaïque. Depuis 2016, les porteurs de projets d'installation éolienne peuvent candidater aux appels d'offres proposés par la CRE pour être éligibles à un complément de rémunération⁹⁰.

Il existe deux appels d'offres lancés en 2017 pour les éoliennes terrestres :

- Appel d'offres portant sur la réalisation et l'exploitation d'installations de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent implantées à terre
- Appel d'offres portant sur la réalisation et l'exploitation d'installations de production d'électricité à partir d'énergie solaire

83 France Énergie Éolienne, « L'agriculture : vecteur de développement des énergies renouvelables », 2020

84 Le présent rapport exclu les éoliennes off-shore car elles ne peuvent être installées sur terrain agricole.

85 Ministère de la Transition énergétique, « Éolien terrestre », 2023

86 ADEME, fiche sur l'éolien terrestre, 2023

87 ADEME, « Le petit éolien », 2015

88 ADEME, « Le petit éolien », 2015

89 RTE, « Futur énergétique 2050 », 2022

90 Pour plus d'informations, voir OIE, « Le fonctionnement des mécanismes de soutiens aux énergies renouvelables en France ».

photovoltaïque, hydroélectrique ou éolienne situées en métropole continentale

L'implantation d'éoliennes requiert de nombreuses autorisations relatives au code de l'urbanisme, au code de l'environnement, au code de l'énergie ou encore au code forestier. Pour simplifier ces démarches, une autorisation unique est à présent mise en place, menant à une seule et unique décision du préfet. Après une étude des impacts environnementaux du projet et une enquête publique dans un rayon de 6 km, c'est au préfet que revient la décision d'autoriser ou non le projet. Cette procédure concerne toutes les installations dont celles sur terrains agricoles.

Freins et avenir

Le manque d'acceptabilité sociale représente aujourd'hui l'un des freins au développement de l'éolien terrestre. En effet, l'agriculteur et le propriétaire ne sont pas les seuls à pouvoir donner leur avis sur un projet de parc éolien. L'enquête publique menée dans le cadre de la procédure d'obtention de l'autorisation unique permet à l'ensemble des habitants à proximité du projet de partager ses inquiétudes, fondées ou non, relatives au bruit, à l'impact visuel et à l'impact sur la faune et la flore. Il existe également une charte sur le développement de l'éolien qui permet aux collectivités locales de s'impliquer le plus rapidement possible dans les projets éoliens et ainsi communiquer leur avis et celui de la population.

Les freins réglementaires marquent également le développement de projet éolien. En effet, la Direction de la sécurité aérienne de l'État prévoit que l'ensemble des projets dans un rayon de 70km autour d'un radar nécessiteront une autorisation du ministère des Armées.

Toutefois la loi AER accompagne la création d'un portail cartographique qui recense les zones d'accélération (portées par les élus) au développement d'énergie renouvelable. Ce projet lancé en juin par le ministère de la Transition énergétique devrait faciliter la mise en place de projet éolien.

Recyclage des éoliennes terrestres

Les éoliennes terrestres ont une durée de vie moyenne estimée à 20 ans⁹¹. D'après le code de l'environnement, le démantèlement et le recyclage des éoliennes ainsi que la remise en état des terres agricoles sont à la charge de l'exploitant. En fin de vie les matériaux peuvent être réutilisés s'ils sont en état, sinon ils sont recyclés par de filières de revalorisation. France Renouvelables (ex France Energie Eolienne) estime que 90 % d'une éolienne est recyclable, un chiffre qui devrait augmenter avec les progrès techniques. A noter qu'aujourd'hui de nombreuses éoliennes sont démantelées avant leur fin de vie pour être remplacée par des technologies plus performantes (après les avancées scientifiques sur la puissance des éoliennes), opération appelée *repowering*.

Recommandation 8

Promouvoir la méthodologie de planification du déploiement des énergies renouvelables et les dispositifs de partage de la valeur introduits par la loi d'accélération de la production d'énergies renouvelables en facilitant et en soutenant l'engagement des agriculteurs dans les sociétés de projets de production d'énergies renouvelables sur leurs territoires.

91 ADEME, « L'énergie éolienne »

Les leviers économiques permettant de réduire les émissions du secteur agricole

Plusieurs mécanismes économiques d'ores et déjà en vigueur en France permettent de lutter contre le changement climatique. Ces mécanismes peuvent agir directement sur les émissions de GES via un signal prix (taxe sur les émissions) ou des quotas, ou bien indirectement sur celles-ci via le financement de mesures permettant de réduire la consommation d'énergie comme le dispositif des certificats d'économies d'énergie (CEE). Il convient de constater que ces dispositifs pourraient être améliorés afin d'accélérer la baisse des émissions du secteur agricole.



La tarification du carbone

La France s'étant fixée des objectifs précis en matière de décarbonation, il est donc crucial de mettre en place des actions rapides et efficaces pour les atteindre. Afin de pouvoir classer ces actions selon leur impact sur la baisse des émissions de GES, différents outils de mesures ont été créés pour orienter les pouvoirs publics :

- **La valeur de l'action pour le climat (VAC)**, également dénommée la valeur tutélaire du carbone. Cette valeur, exprimée en euros par tonne d'équivalent CO₂, représente la rentabilité d'une action pour la société au regard de son impact sur les émissions de GES. La VAC prend en compte le coût de l'action mais aussi les émissions de GES évitées. Elle permet d'évaluer l'importance à accorder à la réduction des émissions et d'orienter les investissements vers les actions les plus impactantes sur le plan climatique.
- **Le coût d'abattement (CA)**. Il mesure le coût financier nécessaire pour éviter une certaine quantité d'émission de GES. Le coût d'abattement permet de classer les différentes actions et de déterminer quelles mesures sont les plus rentables en termes de coût par tonne d'équivalent CO₂ évitée. Ainsi, les investissements peuvent être priorisés vers les mesures les plus efficaces pour atteindre les objectifs de décarbonation.

Ces deux outils de mesure permettent d'identifier les actions permettant d'éviter d'émettre le plus de CO_{2eq} par euros investis, favorisant ainsi une utilisation optimale des ressources financières pour lutter contre le changement climatique. Ainsi, **lorsque la valeur action pour le climat (VAC)**

est supérieure au coût d'abattement (CA) d'une action, cela signifie que la mise en place de cette action est socioéconomiquement désirable. Dans ce cas, les pouvoirs publics ont plusieurs mécanismes économiques à leur disposition dans l'optique de mettre en œuvre ces actions.

La taxe carbone

La taxe carbone, également connue sous le nom de contribution carbone, est un instrument de politique environnementale qui vise à internaliser le coût social et environnemental des émissions de GES.

Cette taxe impose un coût financier exprimé en euros par tonne d'équivalent CO₂ émis qui incite les entreprises et les particuliers à réduire leurs émissions en optant pour des actions moins émettrices de CO₂.

La mise en place d'une taxe carbone génère des recettes pour les instances publiques. Ces recettes peuvent être utilisées de différentes manières, notamment pour soutenir la décarbonation. Elles peuvent être réinvesties dans des projets de transition énergétique, des initiatives de recherche et développement, des subventions pour les technologies et énergies propres, ou encore des incitations financières pour encourager l'adoption de pratiques respectueuses de l'environnement. La taxe carbone constitue ainsi un mécanisme incitatif permettant à la fois de réduire les émissions de GES en encourageant des choix plus écologiques, et de générer des ressources financières pour soutenir la transition vers une économie bas-carbone. En 2014, une fiscalité semblable à la taxe carbone a été mise en place via la Contribution Climat Energie (CCE) qui était une composante des anciennes taxes intérieures de consommation. Depuis le 1er janvier 2022 ces taxes sont dénommées fractions de l'accise sur les énergies et concernent l'électricité (anciennement la TICFE), le gaz naturel (anciennement la TICGN), le charbon (anciennement la TICC), et les produits énergétiques autres que le gaz naturel et le charbon en métropole (anciennement la TICPE) et en outre-mer (anciennement la TSC). La CCE devait progressivement augmenter pour atteindre 100 €/tCO_{2éq} en 2030, mais compte tenu du mouvement social de l'automne 2018, cette composante des fractions de l'accise sur les énergies a depuis été gelée à 44,6 €/tCO_{2éq}.



La fiscalité spécifique au secteur agricole

Certains secteurs peuvent bénéficier de réductions des fractions de l'accise sur les énergies pour garantir leur compétitivité, c'est le cas du secteur agricole.

Le taux normal de la fraction de l'accise perçue sur le gaz naturel (usage combustible) est de 8,41 €/MWh depuis le 1er janvier 2022. Or, les exploitants agricoles bénéficient d'un taux réduit fixé à 0,54 €/MWh pour le gaz naturel utilisé comme combustible pour les travaux agricoles et à 1,60 €/MWh pour le gaz naturel utilisé pour la déshydratation de certains légumes⁹². **La réduction de la fraction de l'accise perçue**

sur le gaz naturel s'élève donc de 81 % à 94 % pour le secteur agricole.

Les tarifs normaux de la fraction de l'accise perçue en métropole sur les produits pétroliers hors gaz naturel et charbon (usage combustible) sont les visibles dans le premier tableau ci-dessous.

Le secteur agricole bénéficie de tarifs réduits s'élevant à 0,167 €/MWh pour les fiouls lourds à usage combustibles et à 0,712 €/MWh pour les gaz de pétrole liquéfiés à usage combustibles, soient respectivement 99 % et 86 % de réductions.

CATÉGORIE FISCALE (COMBUSTIBLE)	TARIF NORMAL À COMPTER DE 2022 (€/MWH)
Fiouls lourds	12,555
Fiouls domestiques	15,62
Pétroles lampants	15,686
Gaz de pétrole liquéfiés combustibles	5,189

CATÉGORIE FISCALE (CARBURANT)	TARIF NORMAL À COMPTER DE 2022 (€/MWH)
Gazoles	59,40
Carburéacteurs	42,131
Essences	76,826
Gaz de pétrole liquéfiés carburant	16,208

Source : Ministère de la Transition énergétique ;
Fiscalité des énergies

Source : Ministère de la Transition énergétique ;
Fiscalité des énergies

⁹² Uniquement si la consommation est supérieure à 800 Wh par euro de valeur ajoutée.

Les tarifs normaux de la fraction de l'accise perçue en métropole sur les produits pétroliers hors gaz naturel et charbon (usage carburant) sont visibles dans le deuxième tableau de la page précédente.

Les exploitants agricoles bénéficient d'un tarif particulier pour leurs travaux agricoles de 3,86 €/MWh pour le gazole non routier agricole qui depuis 2011 est le seul carburant autorisé pour les engins agricoles⁹³. **La réduction de cette taxe sur les produits pétroliers hors gaz naturel et charbon à usage carburant du secteur agricole s'élève donc à 94 % comparativement aux carburants de type gazoles. Cette réduction en particulier représente un manque à gagner d'1,4 milliards d'euros par an pour l'État⁹⁴.**



93 Auparavant, les agriculteurs utilisaient du fioul dont la teneur en soufre (très polluant) était bien plus importante.

94 [Ministère de l'agriculture, « Décarboner 100 % de l'énergie utilisée en agriculture à l'horizon 2050 : c'est possible », 2022](#)

Les pistes d'évolutions pour le secteur agricole

Selon le rapport du Haut Conseil pour le Climat sur la tarification effective de l'énergie et du carbone, en 2022, la situation mondiale a entraîné une hausse des prix de l'énergie et l'État a réagi en augmentant les remises à la pompe pour le gazole routier et non routier. Ces remises à la pompe ont entraîné une tarification du gazole non routier négative équivalente à -9 €/tCO₂. À titre de comparaison, dans l'optique de palier le retard sur la trajectoire nécessaire à l'atteinte de l'objectif de la neutralité carbone, le rapport de la commission Quinet préconisait dans sa version mise à jour en 2019 que la valeur tutélaire atteigne 250 €/tCO₂ en 2030⁹⁵. Pour rappel cette valeur doit être considérée comme un ordre de grandeur mais n'a pas vocation à déterminer la trajectoire exacte de la taxe carbone.

Ainsi pour œuvrer contre le changement climatique, **il serait préférable que cette taxe négative disparaisse afin d'assurer la bonne transmission du signal prix** et ainsi rende plus attractif le recours à des technologies plus vertueuses pour l'environnement qui répondront également à l'enjeu de protection économique du secteur agricole. **Ce budget d'1,4 milliards d'euros généré par la suppression de la taxe particulière pour le gazole non routier du secteur agricole pourrait permettre de financer la recherche et le développement de technologies décarbonées, comme les tracteurs électriques ou les tracteurs fonctionnant à l'hydrogène décarboné, et de mettre en place une aide à l'achat.** Toutefois, ces actions ne devraient être subventionnées qu'à la condition que leur coût d'abattement soit inférieur à la valeur tutélaire du carbone.

Concernant le chauffage des serres, et comme évoqué *supra*, le secteur agricole dispose d'une réduction de 81 % à 94 % sur la fraction de l'accise perçue sur le gaz naturel. De la même façon **ce manque à gagner pourrait être utilisé pour mettre en place des solutions de décarbonation tout en soutenant l'économie**

du secteur agricole. Elle pourrait par exemple constituer une aide supplémentaire, en plus des CEE (cf. *infra*) pour l'achat d'une pompe à chaleur.

En complément des mesures précédentes qui pourraient être mises en place pour le secteur agricole, la production d'hydrogène peut être régulée par la tarification du carbone. A noter que le gaz naturel utilisé pour le vaporeformage n'est pas soumis à l'accise sur les énergies car il est consommé en tant que matière première. Or, la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau qui est entre 3 et 4 fois plus coûteuse que la production par vaporeformage de méthane n'est aujourd'hui pas compétitive sans l'aide d'un mécanisme économique. Cependant, **selon France stratégie, le coût d'abattement de l'hydrogène provenant d'un mix électrique bas carbone (comme celui de la France) est de 100 €/tCO₂. Comparé à la valeur tutélaire du carbone de 250 €/tCO₂ en 2030, l'hydrogène décarboné est une action de décarbonation souhaitable⁹⁶.**

● **Recommandation 9**

Instaurer une réflexion sur une suppression progressive de la niche fiscale du secteur agricole pour les carburants fossiles et flécher l'enveloppe récupérée par l'État au financement de la transition écologique du secteur.

95 MTE, "Valeurs de référence prescrites pour le calcul socio-économique", mai 2019

96 Coûts d'abattement hydrogène, Stratégie gouvernement 2022

Le marché européen du carbone

Les quotas carbone

En 2005, à la suite du protocole de Kyoto, un système européen d'échange de quotas d'émissions de GES a été mis en place sur le principe du pollueur-payeur. Chacune des 11 000 entreprises concernées se voit annuellement attribuer une quantité de quotas, représentant le droit d'émettre des émissions de GES où un quota correspond à un droit d'émettre une tonne d'équivalent CO₂. Ces entreprises appartiennent aux secteurs suivants :

- Production d'électricité et de chaleur
- Raffinerie
- Pétrochimie
- Production d'acier et fer
- Production de ciment et chaux
- Production de verre et céramique
- Industrie papetière
- Aviation civile
- Transport maritime
- Transport routier et bâtiments (à venir)

Si l'un de ces sites dépasse le volume d'émission auquel il a le droit, il a la possibilité d'acheter des quotas à d'autres entreprises sur le marché européen du carbone. Ce marché permet aux redevables de s'échanger des quotas pour ne pas payer la pénalité de 100 € par tonne de CO₂

émise en trop. Les quotas sont re calculés chaque année en fonction des engagements des États et des émissions des entreprises des années précédentes.

Les crédits carbone

Les entreprises de tous les secteurs d'activité ont la possibilité de mettre en place des actions qui permettent d'éviter ou de séquestrer des émissions de GES, ce qui leur permet de recevoir des crédits carbone. **Un crédit carbone correspond à un certificat attestant qu'un projet a permis d'éviter ou de séquestrer une tonne d'équivalent CO₂.** Ces crédits sont achetés par des entreprises : notamment celles soumises aux quotas carbone (qui achètent des crédits carbone pour compenser leurs excès d'émissions), mais également celles souhaitant s'engager pour la neutralité carbone, des particuliers ou des collectivités souhaitant financer des projets de décarbonation, de parvenir à leurs objectifs de réduction ou simplement compenser leurs émissions. De la même façon un quota peut devenir un crédit si son propriétaire initial ne l'utilise pas et souhaite le vendre sur le marché européen.

Pour être éligible aux crédits carbone, le projet doit remplir plusieurs critères :

- L'additionnalité : le soutien financier est nécessaire pour mettre en place le projet de décarbonation.
- Mesurabilité : les émissions évitées doivent être quantifiable
- Vérifiabilité : le projet peut être vérifié à tout moment.
- Permanence : l'action permet d'éviter ou de séquestrer des GES pendant au moins 7 ans.

Les crédits carbone constituent un levier économique visant à inciter les acteurs dont les agriculteurs à mettre en place des actions d'évitement ou d'absorption de CO₂. Pour être émetteur de crédits carbone, le secteur agricole doit jouer sur ses émissions de CO₂ uniquement⁹⁷. Par exemple, **il est possible d'attribuer des crédits carbone pour la production d'engrais grâce à de l'hydrogène décarboné, pour l'installation de pompes à chaleur pour chauffer les serres ou encore pour l'utilisation**

d'engins agricoles électriques si ces mesures remplissent les critères d'éligibilité. Pour cela un agriculteur doit d'abord faire un état des lieux de ses émissions pour ensuite prouver que les leviers de décarbonation qu'il met en place permettent de réduire ses émissions de GES. Pour toutes ces démarches, l'agriculteur est accompagné par un porteur de projet qui s'occupe notamment des démarches administratives auprès des organismes certificateurs. Ces derniers se chargeront de vérifier la mise en place des projets de décarbonation avant de procéder à la labélisation des projets (par exemple le label bas carbone).

⁹⁷ Les émissions de méthane et de protoxyde d'azote ne sont pas prises en compte par le système européen. Cette quantification peut être amenée à changer dans les années à venir.

Les pistes d'évolutions pour le secteur agricole

Aujourd'hui l'efficacité de ces crédits est remise en question, car il semblerait que de nombreux projets auraient malgré tout pu voir le jour sans l'aide financière. Ce qui signifie que le critère d'additionnalité n'est pas respecté. De plus, face au risque de fuites carbonées (c'est-à-dire la délocalisation de sites de production pour ne plus être concerné par le système des quotas carbone), le nouveau mécanisme d'ajustement carbone aux frontières de l'UE sera mis en place pour certains produits importés (dont l'hydrogène). Ces produits seront soumis à une sanction identique à celle des produits européens (100 €/tCO₂).

Enfin d'après le Haut Conseil pour le Climat, en 2022, la valeur des crédits carbone sur le marché atteignait 81 €/tCO₂ et variait très largement entre les permis. Pour atteindre les objectifs de décarbonation, il est nécessaire que cette valeur atteigne des niveaux équivalents à ceux de la valeur tutélaire du carbone. Pour cela, certains spécialistes recommandent :

- **D'augmenter le nombre d'entreprises et de secteurs soumis aux quotas carbone** et/ou **diminuer le nombre de quotas** attribués pour augmenter le prix sur le marché.
- **D'augmenter la valeur de la pénalité** en cas de non-respect des quotas d'émissions attribué. Le niveau optimal de cette sanction étant celui de la valeur tutélaire du carbone, le placer à un tel niveau permettrait d'encourager la réalisation d'action socialement désirables.
- **De prendre en compte toutes les émissions de GES** en utilisant l'unité de comptabilité d'équivalent CO₂ pour soutenir davantage d'actions de décarbonation notamment pour le secteur agricole.

Ces solutions générales pourraient permettre d'augmenter la demande de crédits carbone et ainsi le financement d'actions de décarbonations pour le secteur agricole.





Les certificats d'économies d'énergie

Créé en 2005 par la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique⁹⁸, le dispositif des certificats d'économies d'énergie (CEE) contribue à l'objectif européen⁹⁹ de réduction de la consommation d'énergie finale¹⁰⁰, permettant ainsi de réduire la facture énergétique des consommateurs, d'améliorer l'indépendance énergétique de la France et de réduire les émissions de CO₂. Pour la 5e période du dispositif allant de 2022 à 2025, l'objectif d'économies d'énergie fixé s'élève à 3 100 TWhc¹⁰¹, en hausse de 45 % par rapport aux années 2018 à 2021¹⁰².



98 [Loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005](#)

99 Directive 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique

100 L'énergie finale correspond à l'énergie livrée au consommateur avant son utilisation. Pour plus de détails voir : OIE, « [Primaire ou finale : comment comptabiliser l'énergie ?](#) », mars 2020

101 Le terme « TWhc », qui peut aussi être noté « TWh cumac », signifie « TWh cumulé et actualisé ». Il est utilisé dans le cas des CEE pour caractériser le volume d'économies d'énergie cumulé sur la durée de vie de l'équipement. Le taux d'actualisation pour les CEE est de 4 %.

102 L'objectif de la quatrième période CEE s'élevait à 2 133 TWhc. MTE, « Bilan de la 4ème période des CEE 2018-2021 ».

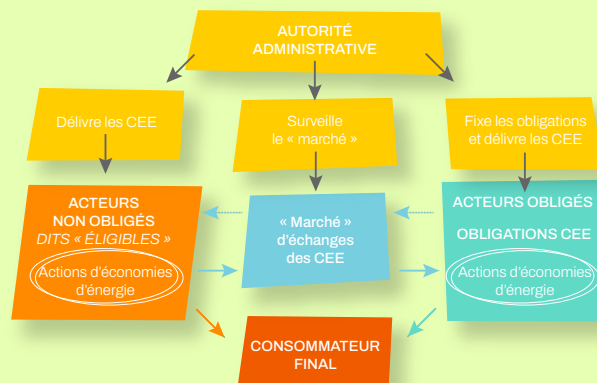
Le fonctionnement du dispositif des CEE

Le fonctionnement des CEE repose sur une obligation de réalisation d'économies d'énergie imposée par les pouvoirs publics aux fournisseurs d'énergie (dénommés « obligés »). Ceux-ci sont ainsi incités à promouvoir activement l'efficacité énergétique auprès des consommateurs d'énergie : ménages, collectivités territoriales ou entreprises.

Les obligés mettent alors en place des actions pour atteindre leur objectif. S'ils n'y parviennent pas, ils sont sanctionnés à hauteur de 0,02 €/kWhc manquant¹⁰³. Pour éviter cette sanction, les fournisseurs d'énergie peuvent réaliser directement des actions d'efficacité énergétique auprès des consommateurs, déléguer tout ou partie de leur obligation à des intermédiaires spécialistes de l'efficacité énergétique (dénommés « délégataires »), ou bien enfin échanger des CEE sur un marché dédié. Sur ce marché secondaire, les obligés peuvent acheter des certificats à d'autres acteurs : obligés, délégataires ou encore « éligibles » qui, sans être soumis à une obligation d'économies d'énergies, peuvent valoriser leurs CEE obtenus grâce à des actions qu'ils ont menées. Le marché occupe une place centrale dans la réduction des consommations énergétiques en cela que le

signal prix qu'il envoie aux obligés doit permettre de favoriser la réalisation d'économies d'énergies par un autre acteur plutôt d'aboutir au règlement d'une pénalité qui serait inefficace du point de vue climatique. De plus, le coût de ce dispositif se retrouve également dans les factures d'énergie des ménages et de certaines entreprises.

Schéma du dispositif des CEE



103 Atee, « [Les certificats d'économie d'énergie](#) »

Les actions d'efficacité énergétique pour l'agriculture

Les CEE permettent d'encourager des actions d'efficacité énergétique dans divers secteurs d'activité. **Dans l'agriculture, le gouvernement met à disposition plus d'une vingtaine de fiches comportant des actions standardisées, dont certaines propres au secteur, et permettant d'obtenir des CEE. La grande majorité des fiches CEE mises à disposition pour le secteur agricole concerne les serres agricoles, par exemple des fiches sur l'installation de systèmes de chauffage plus efficaces, le renforcement de l'isolation ou encore l'optimisation de l'éclairage.**

Le dispositif des CEE a déjà permis d'économiser 24,8 TWhc pour la filière maraîchère¹⁰⁴. Il existe également une fiche CEE dédiée à l'isolation avec la mise en place d'écrans thermiques, une fiche pour les dispositifs de récupération de chaleur (à condensation ou chaleur fatale), mais aussi une fiche pour l'installation d'une pompe à chaleur de type air/eau ou eau/eau¹⁰⁵. Malgré tout, ce dispositif ne permet pas de couvrir plus de 10 % à 20 % du prix d'achat d'une PAC.

Volume de CEE attribué pour une PAC de puissance thermique nominale ≤ 400 kW :

Efficacité énergétique saisonnière (η_s)	Type de serre	Montant en kWh cumac par m ² de serre chauffée
$111\% \leq \eta_s < 126\%$	Maraîchère	800
	Horticole	380
$126\% \leq \eta_s$	Maraîchère	970
	Horticole	460

X

Surface de serre chauffée (m ²)
S_{\min}

Volume de CEE attribué pour une PAC de puissance thermique nominale > 400 kW :

COP	Type de serre	Montant en kWh cumac par m ² de serre chauffée
$3,4 \leq COP < 4$	Maraîchère	780
	Horticole	370
$4 \leq COP$	Maraîchère	1 040
	Horticole	490

X

Surface de serre chauffée (m ²)
S_{\min}

Source : Certificats Économie Énergie ; AGRI-TH-108

Source : Certificats Économie Énergie ; AGRI-TH-108

104 CTIFL, « Le dispositif des certificats d'économies d'énergie : un outil de financement », 2023

105 ADEME, Outil de calcul des Certificats d'Économies d'Énergie (CEE), Fiches AGRI

La fiche consacrée à l'installation de pompe à chaleur (PAC) de type air/eau ou eau/eau concerne les serres neuves ou existantes. Pour les pompes à chaleur de puissance nominale inférieure à 400 kW « basse température » (détaillé sur le premier tableau de la page précédente, avec une efficacité énergétique saisonnière minimale de 126 %) le montant des certificats est plus élevé que pour une pompe à chaleur de « moyenne ou haute température » (avec une efficacité énergétique saisonnière comprise entre 111 % et 126 %). Cette modalité technique permet de favoriser le développement de PAC combinées avec des émetteurs à basse température et donc d'optimiser la performance de l'équipement tout en minimisant la consommation d'électricité nécessaire à son bon fonctionnement¹⁰⁶.

De même, pour les pompes à chaleur de plus forte puissance, le montant des certificats attribués est également plus élevé si le coefficient de performance de la PAC est supérieur à 4, encourageant ainsi l'installation des matériels les plus performants (voir le deuxième tableau de la page précédente).



106 La performance d'une PAC est inversement proportionnelle à l'écart de température entre la source chaude et la source froide.

Les pistes d'évolutions pour le secteur agricole

Enfin, **le mécanisme des CEE constitue un dispositif avantageux pour l'État**, car il ne nécessite aucun investissement financier direct de sa part. Son seul rôle consiste à exercer un contrôle rigoureux et à délivrer les CEE aux obligés et aux éligibles. Les CEE sont ainsi un moyen de limiter la consommation d'énergie et donc de lutter contre le réchauffement climatique à moindre coût pour l'État mais également pour les acteurs du secteur.

Le mécanisme des CEE est très intéressant pour le secteur agricole à condition qu'il offre de réelles économies énergétiques et financières. En effet le secteur agricole se caractérise par une grande disparité des revenus des exploitants qui dépendent nettement des dépenses en matières premières dont fait partie l'énergie.





Conclusion

Ce rapport met en évidence le rôle non négligeable que peut jouer le système électrique français dans la décarbonation de l'agriculture. En effet, au-delà des émissions liées à la combustion d'énergies fossiles lorsque l'on considère le périmètre usuel du secteur agricole, la nécessité de réduire plus largement les émissions sur l'ensemble de la chaîne de valeur ainsi que le fort potentiel de production d'électricité bas-carbone du milieu agricole soulignent d'autant plus les synergies qui existent entre agriculture et électricité et qui gagneraient à être développées dans l'optique d'atteindre la neutralité carbone.

Ainsi, en ce qui concerne les pratiques agricoles, des solutions telles que l'électrification des engins agricoles ou le déploiement des pompes à chaleur pour chauffer les serres ou plus largement les bâtiments agricoles permettraient de réduire les émissions de GES. De plus, les activités liées à l'agriculture mais dont les émissions ne sont pas comptabilisées dans celles du secteur agricole peuvent également faire appel à l'électricité pour être décarbonées. C'est le cas des modes de transport routiers traditionnels des produits alimentaires qui peuvent être basculés sur d'autres modes de transports beaucoup moins carbonés et dont la motorisation peut être électrifiée. La production d'hydrogène, opération fortement émettrice de GES mais nécessaire pour la production d'engrais minéraux, pourrait quant à elle se faire via l'électrolyse de l'eau grâce à l'électricité renouvelable ou nucléaire plutôt que par vaporeformage de méthane. Enfin, les terres et bâtis agricoles présentent également un fort potentiel d'accueil des installations de production d'électricité photovoltaïques ou éoliennes, tandis que les déchets agricoles peuvent être valorisés pour permettre la production d'électricité via des centrales de cogénération.

Pour soutenir le développement de ces technologies utiles à la décarbonation du secteur, la maximisation de l'utilisation de mécanismes financiers comme la tarification du carbone, les crédits carbones ou les CEE s'avère cruciale. Ces incitations financières permettront d'accompagner et d'influencer l'adoption de mesures de décarbonation et contribueront ainsi à accélérer l'évolution du système agricole. Toutefois, il est important de souligner qu'en parallèle du déploiement de ces solutions technologiques, il est prioritaire d'adopter massivement et rapidement des comportements permettant d'éviter la consommation d'énergie du secteur agricole, la sobriété s'appliquant également à ce secteur.

Synthèse des propositions

● **Recommandation 1**

Soutenir la recherche et le développement d'engins agricoles fonctionnant à l'électricité ou à l'hydrogène décarboné et mettre en place des aides à l'achat pour les engins agricoles bas-carbone.

● **Recommandation 2**

Soutenir le déploiement des pompes à chaleur pour décarboner les chauffages des serres et des bâtiments agricoles en créant une bonification de la fiche CEE AGRI-TH-108 relative au déploiement des pompes à chaleur dans les serres.

● **Recommandation 3**

Mettre en cohérence le dispositif des CEE avec l'objectif de réduction des émissions de GES tel que figurant à l'article L .100-4 du code de l'énergie.

● **Recommandation 4**

Planifier et soutenir la bascule du transport des produits agricoles depuis les poids lourds fonctionnant avec des énergies fossiles vers des moyens de transport bas-carbone comme le fret, le transport fluvial et les poids lourds électriques.

● **Recommandation 5**

Mettre en place un mécanisme permettant de favoriser l'achat d'engrais bas-carbone fabriqués en France.

● **Recommandation 6**

Interroger la pertinence de la mise en place un appel d'offres pour la production d'électricité via la biomasse.

● **Recommandation 7**

Étudier la pertinence de la mise en place d'un appel d'offres spécifique à l'agrivoltaïsme, à la suite d'un retour d'expérience de l'application du décret agrivoltaïsme.

● **Recommandation 8**

Promouvoir la méthodologie de planification du déploiement des énergies renouvelables et les dispositifs de partage de la valeur introduits par la loi d'accélération de la production d'énergies renouvelables en facilitant et en soutenant l'engagement des agriculteurs dans les sociétés de projets de production d'énergies renouvelables sur leurs territoires.

● **Recommandation 9**

Instaurer une réflexion sur une suppression progressive de la niche fiscale du secteur agricole pour les carburants et combustibles fossiles et flécher l'enveloppe récupérée par l'État au financement de la transition écologique du secteur.



UNION FRANÇAISE DE L'ÉLECTRICITÉ

**3, rue du 4 septembre – 75002 PARIS
Rue Belliard, 40 – 1040 Bruxelles**

www.ufe-electricite.fr

