

Mai 2022

Agriculture : concilier rentabilité économique et action climatique

Marie-Cécile DAMAVE

REMERCIEMENTS

Cette note est issue des réflexions du groupe de travail d'Agridées « Les moyens rentables d'adaptation et d'atténuation du changement climatique » qui s'est réuni en 2021 et 2022. Nous tenons à remercier chaleureusement les membres de ce groupe pour leur engagement actif dans nos réflexions. Un grand merci également à Renaud Grasset, qui s'est impliqué dans l'organisation et la synthèse de ces travaux avec efficacité et bienveillance.

RÉSUMÉ

De tout temps, les agriculteurs ont dû s'adapter aux conditions météorologiques. Cependant, les dérèglements climatiques en cours leur imposent de les anticiper plus finement pour éviter que leur production ne soit dégradée. En effet, les événements extrêmes (vagues de chaleur et de froid, inondations, sécheresses) deviennent de plus en plus fréquents et aléatoires. Les agriculteurs doivent gérer ce risque en s'adaptant efficacement à ces stress de manière à préserver leur rentabilité économique. À plus large échelle, le secteur agricole a également un rôle à jouer pour contribuer à atténuer le changement climatique, puisqu'il est un des rares à stocker du carbone, aux côtés des forêts et des océans. **Réduire cette empreinte carbone de l'agriculture** consiste à la fois à diminuer ses émissions de gaz à effet de serre (protoxyde d'azote et méthane essentiellement) et à augmenter le stock de carbone dans les sols. Enfin, la production agricole ne doit pas porter à elle seule la responsabilité de la décarbonation des chaînes de valeurs alimentaires et non-alimentaires auxquelles elle appartient. Celles-ci sont toutes engagées dans la décarbonation de l'économie, et les efforts de chaque maillon de ces chaînes, notamment ceux des agriculteurs, devront être valorisés pour leurs efforts en la matière.

Outre un système assurantiel adapté, dont il n'est pas fait état dans cette note, il existe deux grandes familles de leviers à la fois efficaces et rentables pour les chefs d'entreprise agricoles pour contribuer à leur propre résilience climatique et à celle de notre pays. La première réunit les leviers de **l'agriculture de précision et bas carbone, génératrice de crédits carbone et rétribuée par les filières agroalimentaires**. Dans ce cas, des primes filières valorisent les pratiques agronomiques visant à optimiser le taux de matière organique des sols, la conduite d'élevage, l'utilisation d'outils numériques d'aide à la décision pour piloter la fertilisation azotée et l'irrigation, la génétique animale et végétale permettant d'économiser et utiliser plus efficacement l'eau et les fertilisants, des modèles mathématiques prédictifs pour mieux anticiper et gérer plus finement les aléas climatiques. Des scores de durabilité doivent être mis en œuvre pour informer les citoyens-consommateurs des actions menées en amont.

La seconde catégorie est la **production par les agriculteurs d'énergies renouvelables** (électricité, biogaz, biocarburants) en substitution aux énergies fossiles souvent importées (charbon, gaz, pétrole), en complément de la production alimentaire, qui doit rester prioritaire. L'installation d'un **méthaniseur** ou de panneaux dans le cadre de **l'agrivoltaïsme** demande des investissements lourds pour monter de véritables unités industrielles dont, par ailleurs, l'acceptation sociétale doit être gérée en amont. Tous les agriculteurs n'ont pas les moyens de monter ces projets. Cependant, la méthanisation apparaît comme le levier potentiellement le plus rentable à terme, contribuant notamment à l'autonomie en énergie et en fertilisants des exploitations, à la gestion des effluents d'élevage et à la fertilité des sols. Les énergies produites doivent être valorisées auprès des citoyens-consommateurs comme énergies biosourcées et renouvelables.

Les **combinaisons les plus efficaces et rentables** de ces différents leviers doivent être optimisées dans chaque exploitation agricole pour lui permettre à la fois de s'adapter efficacement aux dérèglements climatiques et de contribuer à son échelle à atténuer ces phénomènes, tout en répondant aux enjeux stratégiques nationaux de sécurité alimentaire et énergétique. Pour cela, la mobilisation des acteurs des filières, la **formation des agriculteurs et l'implication des citoyens-consommateurs, l'accélération des innovations technologiques** et la construction d'un **système européen standardisé et certifié de crédits carbone agricoles** fondé sur une obligation de résultat sont nécessaires.

PROPOSITIONS GÉNÉRALES

Construire un système européen standardisé et certifié de crédits carbone agricoles durablement rémunérateur pour les agriculteurs et incitatif pour les financeurs :

- **la valeur des crédits carbone doit dépendre de critères réunis dans un indice de durabilité** réunissant la fertilité des sols (teneur en carbone organique, indice de biodiversité, capacité de rétention et qualité de l'eau, érosion) et le bilan carbone (stockage de carbone et émissions de gaz à effet de serre), calculés sur la base d'une **obligation de résultat** ;
- **rétribuer les efforts déjà fournis** en valorisant le maintien d'un taux de matière organique dans les sols plus élevé que la moyenne territoriale (pratiques de l'agriculture de conservation, prairies permanentes) ;
- **financer par des aides publiques le diagnostic carbone initial et l'accompagnement à la transition vers une agriculture bas carbone** pendant 5 ans (formation sur les leviers et outils d'adaptation et d'atténuation, sur le fonctionnement du sol et les analyses de sols) ;
- mieux prendre en compte la fertilité des sols, pour fixer le prix de la terre** en cas de vente **ou le fermage** en cas de location ;
- **inciter les financeurs à soutenir la transition bas carbone** en compensant leurs émissions par l'achat d'un minimum obligatoire de crédits carbone agricoles forestiers générés en France et dans l'Union européenne et en réduisant les émissions de leurs propres chaînes de valeur.

Informier et impliquer les citoyens-consommateurs :

- **impliquer et informer les citoyens situés dans le voisinage d'unités industrielles** (méthaniseur, bioraffinerie, installation agrivoltaire...) dès l'origine du projet pour que celui-ci puisse voir le jour le plus efficacement possible et en respectant le confort de tous ;
- pour les produits alimentaires, mettre en place des **scores de durabilité multicritères et harmonisés au niveau européen** qui reflètent les efforts faits en amont par les agriculteurs (production de crédits carbone, diversification de l'offre alimentaire végétale avec des variétés et des espèces résilientes face au climat), valorisés par des primes filières pour les agriculteurs ;
- pour les produits non-alimentaires biosourcés (énergie, matériaux, chimie verte) mettre en place un affichage indiquant la nature **biosourcée et renouvelable** et le nombre de **tonnes équivalent CO₂ évitées** par comparaison à leurs équivalents issus des ressources fossiles.

Accélérer la R&D et le déploiement des innovations :

- **les OAD basés sur des modèles prédictifs** pour mieux gérer les risques climatiques ;
- **la nutrition animale et végétale** pour réduire les émissions de GES : additifs alimentaires, biostimulants, biofertilisants pour enrichir le sol en matière organique et renforcer la tolérance à la sécheresse, engrais décarbonés ;
- **la génétique animale et végétale** : meilleure efficacité nutritionnelle (utilisation plus efficace de l'azote et de l'eau, réduction des émissions de N₂O, tolérance au stress hydrique, réduction des émissions de CH₄ des ruminants) ; stockage de carbone dans les sols (développement racinaire) ; propriétés nutritionnelles en réponse à la transition alimentaire vers un meilleur équilibre entre protéines animales et végétales (céréales, légumineuses) ;
- **la robotique et équipements de précision** (irrigation) pour économiser l'eau et l'énergie.

SUMMARY

Agriculture : Combining economic profitability and climate action

Farmers have always had to adapt to the variable weather conditions. Current climate change, however, requires them to anticipate extreme conditions more accurately in order to avoid serious losses in their production. Indeed, extreme events (heat and cold waves, floods, droughts) are becoming increasingly frequent and erratic. Farmers must deal with these risks by adapting effectively in order to assure profits on their farms. On a larger scale, farming plays a vital role in helping to mitigate climate change. Along with forests and oceans, it is one of the few sectors contributing to carbon sequestration. **Reducing the carbon footprint of agriculture** involves both lowering greenhouse gas emissions (mainly nitrous oxide and methane) and increasing carbon stocks in soils. Agricultural production must not be alone decarbonizing the food and non-food value chains to which it belongs. These chains are all involved in decarbonizing the economy, and it is important that each link in the chain, in particular the farmer, be recognized for its distinctive role and efforts undertaken.

In addition to a well-designed insurance system, which is not the subject of this publication, there are two main categories of leverage both efficient and profitable for farm managers in contributing to their own as well as the entire nation's resilience to climatic uncertainties. The first is **low-carbon precision farming which generates carbon credits and is financially compensated by the agri-food industry**. Premium prices are paid for agronomic practices aiming at optimizing the following: (1) soil that contains higher levels of organic matter; (2) livestock management; (3) the use of digital decision-making instruments to control nitrogen fertilization and irrigation; (4) animal and plant genetics to save and use water and fertilizers more efficiently; and (5) predictive mathematical models to anticipate more precisely and deal with climatic contingencies more effectively. Scores for sustainability must be implemented in order to inform citizen-consumers of measures taken upstream.

The second category is the **production of renewable energies** (electricity, biogas, biofuels) by farmers to substitute for frequently imported fossil energies (coal, gas, oil) complementary to the production of food, which must remain the number one priority. Installation of an **anaerobic digester** or solar panels as part of the system of **agrivoltaism** requires significant investment in order to realize fully industrial units that must be accepted, in addition, by society upstream. Not all farmers have the means for such projects. Anaerobic digestion, however, appears to be potentially the most profitable driver in the long term, contributing in particular to the energy and fertilizer autonomy of farms, management of livestock waste, and the maintenance of soil fertility. Energy produced must be promoted to citizen-consumers as bio-based and renewable.

The **most effective and profitable combinations** of these different drivers must be optimized on each farm to enable farmers to adapt effectively to climate change and to contribute on their own levels in mitigating these phenomena. At the same time, these contributions must meet the nation's strategic challenges of food and energy security. To achieve these goals, **mobilizing stakeholders, training farmers, and involving citizen-consumers** are essential. **Accelerating technological innovation** and establishing a **standardized certified European system of outcome-based agricultural carbon credits** are also altogether indispensable.

OUR RECOMMENDATIONS

Building a standardized and certified European system of agricultural carbon credits that is sustainably remunerative for farmers and attractive for investors:

- **The value of carbon credits should depend on criteria included in an outcome-based sustainability index** combining soil fertility (organic carbon content, biodiversity index, water retention capacity and quality, soil erosion) and carbon balance (carbon storage and greenhouse gas emissions);
- **Rewarding farmers' efforts that have already been made** with a higher support for maintaining high rates of organic matter in soils above the local average (conservation agriculture, permanent grasslands) than for increasing rates of organic matter lower than local average;
- **Funding initial carbon balance diagnosis and supporting transition to low-carbon agriculture by public payments** for 5 years (training on adaptation and mitigation drivers and tools, on soil functioning and soil analysis);
- **Taking into account the soil sustainability index** to assess the value of the land and of land tenancy;
- **Encouraging investors to support low-carbon transition:** compensating their emissions with a minimum of mandatory agricultural and forestry carbon credits generated in France and in the European Union and reducing their own value chains' emissions.

Informing and involving citizens-consumers:

- **Involving and inform citizens in the neighbourhood of industrial units** (anaerobic digesters, biorefineries, agrivoltaic installations...) from the outset of the project so that it can be carried out as efficiently as possible and while respecting the comfort of all;
- For food products, **implementing multi-criteria sustainability scores** that are harmonized at the European level to reflect the efforts made upstream by farmers (generating carbon credits, diversifying food supply with varieties and species that are resilient to climate change), rewarded by premiums for farmers;
- For non-food biobased products (energy, materials, green chemistry) implementing a labelling indicating the **biobased and renewable nature and the number of tons of CO₂ equivalent avoided** compared to their fossil-based equivalent.

Accelerating R&D and innovation:

- **Decision support tools based on predictive mathematical models** to better manage climate risks;
- **Animal and plant nutrition** to reduce GHG emissions: feed additives, biostimulants, bio-fertilizers to enrich the soil with organic matter and improve drought tolerance, decarbonated fertilizers;
- **Animal and plant genetics:** improved nutritional efficiency (more efficient use of nitrogen and water, reduction of N₂O emissions, tolerance to water stress, reduction of CH₄ emissions from ruminants); carbon storage in soils (root development); nutritional properties in response to the dietary transition towards a better balance between animal and plant proteins (cereals, legumes);
- **Robotics and precision equipment** (irrigation) to save water and energy.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	3
Résumé	4
Propositions générales	5
Summary	6
Our recommendations	7
Table des propositions	9
Introduction	10
I-Agriculture et climat : un état des lieux	11
I-1-Etat actuel et prévisions	11
I-1-1-Bilan climatique de l'année 2021	11
I-1-2-Les prévisions	11
I-2-Impacts du changement climatique sur la production agricole et alimentaire	12
I-3-Impacts de la production agricole et alimentaire sur le changement climatique	14
II-Réglementation et politiques publiques – objectifs stratégiques	16
II-1-Monde	16
II-2-Union européenne	17
II-3-France.....	20
III-Les leviers de l'offre à la ferme	22
III-1-Faire : pratiques, techniques, technologies	22
III-1-1-Actions et outils d'adaptation	22
III-1-2-Actions et outils d'atténuation.....	26
III-2-Observer, mesurer, modéliser, décider.....	32
III-3-Monétiser, valoriser les actions.....	35
IV-Les leviers de la demande	37
IV-1-Une alimentation durable qui intègre la dimension « climat »	38
IV-2-Des énergies renouvelables et locales en substitution aux énergies fossiles importées.....	43
IV-3-Décarbonation des autres secteurs de l'économie	47
Conclusion	49
Annexe I – Augmentation de la température de l'air et des taux de gaz à effet de serre dans l'atmosphère	51
Annexe II – Prévisions des variations de précipitations en Europe par le GIEC	53
Annexe III – Effets en cascade : du changement climatique à l'insécurité alimentaire	55
Annexe IV – Impacts du changement climatique sur la phénologie et les rendements en France	56

Annexe V – Empreinte carbone de la production agricole et alimentaire mondiale	57
Annexe VI – Évolution et répartition des émissions de GES France	58
Annexe VII – Sources des émissions agricoles en France et dans l’UE.....	58
Annexe VIII – Émissions mondiales de méthane par région et par secteur	59
Annexe IX – Grandes étapes des négociations internationales sur le climat.....	60
Annexe X – Le 4 pour 1 000	60
Annexe XI – Énergies renouvelables : objectifs et réalisations	61
Annexe XII – Plan d’action du ministère de l’Agriculture pour répondre à la SNBC	61
Annexe XIII – Programmation Pluriannuelle de l’Énergie (PPE)	62
Annexe XIV – Bilan humique	62
Annexe XV – Marché volontaire du carbone.....	64
Annexe XVI – Label Bas Carbone	64
Annexe XVII – Scénarios de l’ADEME pour la neutralité carbone en 2050.....	66
Annexe XVIII – Part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute d’énergie	68
Annexe XIX – La méthanisation	68
Annexe XX – Biocarburants	69
Annexe XXI – Les produits issus d’un baril de pétrole.....	70

TABLE DES PROPOSITIONS

Nos propositions générales.....	5
Nos propositions de solutions rentables d’adaptation	26
Nos propositions de solutions rentables d’atténuation	31
Nos propositions pour une agriculture bas carbone rentable et durable.....	37
Nos propositions pour que les filières agroalimentaires valorisent les actions de l’amont	42
Nos propositions pour la production rentable d’énergies renouvelables	47
Nos propositions pour contribuer à décarboner les autres industries	48

INTRODUCTION

C'est grâce à l'effet de serre que nous pouvons vivre sur notre planète, mais ses variations liées en particulier à l'activité humaine perturbent l'équilibre énergétique radiatif du système terre atmosphère. Il est majoritairement admis (voir les travaux du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) que les émissions de gaz à effet de serre (GES) exacerbent l'effet de serre naturel et modifient les températures et les précipitations de manière erratique et variable selon les régions du monde, et intensifient la fréquence d'événements extrêmes. Les changements d'affectation des sols et la forêt jouent également un rôle en modifiant la quantité de GES captée ou libérée par les puits de carbone. Ces phénomènes sont observés à l'échelle mondiale et ne connaissent pas de frontières, ni géographique, ni sectorielle.

Le changement climatique est devenu une des principales préoccupations du monde agricole, puisqu'il en subit les effets partout dans le monde. Si les agriculteurs ont su s'adapter de tout temps aux conditions climatiques, les dérèglements actuels leur imposent une **adaptation**¹ plus anticipée, car les événements climatiques extrêmes sont de plus en plus fréquents et aléatoires.

Par ailleurs, des actions d'**atténuation** du dérèglement climatique existent mais de manière hétérogène selon les secteurs d'activité et les lieux où elles sont mises en œuvre. Elles ne sont impactantes que si elles sont conduites globalement. Même si d'importants progrès y sont enregistrés, notons que le secteur agricole ne peut, à lui seul, inverser les évolutions de l'effet de serre, tout comme l'Union européenne (UE), et encore moins la France, ne peuvent engager seules des démarches suffisantes pour inverser les évolutions climatiques actuelles.

Cela n'empêche pas de positionner la France (qui depuis 1995 a réduit ses émissions totales de GES de 25 %, et celles liées à la production agricole de 10 %) et l'Europe comme des leaders pour valider l'efficacité de diverses actions en vue d'améliorer la résilience et l'impact sur le climat de nos entreprises, en particulier agricoles, et de déployer ces actions à plus large échelle afin qu'elles aient un impact global.

D'autre part, les actions d'**adaptation** et d'**atténuation** conduites par le monde agricole peuvent avoir des impacts sur d'autres dimensions : bien-être humain/qualité de vie, biodiversité, qualité de l'eau et de l'air... Leur pertinence et leur efficacité doivent être évaluées en tenant compte de ces différentes dimensions (additionnalité) et au regard de la compétitivité économique des exploitations agricoles.

Alors que les acteurs, les politiques et les citoyens sont conscients du phénomène, comment le gérer le mieux possible pour concilier la **durabilité des exploitations agricoles**, la consolidation de la **sécurité alimentaire** et l'accroissement de la **sécurité énergétique** ?

Les entreprises agricoles sont au cœur du dispositif de la transition agricole et alimentaire et apportent des solutions indispensables à la transition énergétique vers des modèles plus durables, plus résilients et plus autonomes.

Après un état des lieux sur les effets du climat sur l'agriculture et de la production agricole sur le climat, nous passerons en revue les principaux objectifs stratégiques des politiques publiques mises en place au niveau international, en Europe et en France sur l'enjeu climatique. Enfin, nous nous concentrerons sur les leviers de l'offre agricole et de la demande alimentaire et non

1 Selon l'ADEME, « atténuer le changement climatique et s'y adapter sont les deux voies indispensables pour réduire les risques que génèrent le changement climatique. On dit qu'une activité contribue à l'atténuation du changement climatique si elle contribue à la stabilisation des concentrations de Gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. D'après l'OCDE, il s'agit d'activités permettant de réduire ou limiter les émissions de GES et de protéger et améliorer les puits et réservoirs de GES (...) Une action contribue à l'adaptation au changement climatique dès lors qu'elle permet de limiter les impacts négatifs du changement climatique et d'en maximiser les effets bénéfiques ».

alimentaire issue de la biomasse au service de l'adaptation et de l'atténuation des dérèglements climatiques et qui permettent aux chefs d'entreprises agricoles de consolider leur durabilité économique.

I-AGRICULTURE ET CLIMAT : UN ÉTAT DES LIEUX

Avec son cortège d'événements extrêmes, le dérèglement climatique met en danger la sécurité alimentaire des populations, la qualité de l'environnement, la biodiversité. Au niveau international, le concept de « **Climate-Smart agriculture** » ou « agriculture climato-intelligente » s'est développé depuis une dizaine d'années² à l'initiative de la FAO. Cette agriculture tente de répondre simultanément à trois enjeux : **sécurité alimentaire** (avec une meilleure productivité agricole), **adaptation** (systèmes alimentaires résilients) et **atténuation** (réduction des émissions de GES) du changement climatique. Cependant, répondre simultanément à ces trois enjeux est compliqué et doit souvent faire l'objet d'arbitrages, et « aucune action favorable, prise isolément, quel qu'en soit l'intérêt, ne suffira à traiter la question dans son ensemble ».³

• I-1-État actuel et prévisions

I-1-1-Bilan climatique de l'année 2021

En 2021, les tendances climatiques de long terme se sont poursuivies : augmentation des températures, des concentrations de GES dans l'atmosphère et de la fréquence des événements extrêmes.

Selon l'agence européenne de surveillance climatique Copernicus⁴ et l'Organisation météorologique mondiale⁵ (OMM), les sept dernières années ont été les plus chaudes enregistrées à ce jour et les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre ont continué à augmenter (*Annexe I*). Au niveau mondial, 2021 a été la cinquième année la plus chaude jamais enregistrée, avec une température annuelle moyenne supérieure de 1,1 à 1,2° C par rapport au niveau préindustriel de 1850-1900. De plus, l'Europe a connu l'été le plus chaud jamais enregistré.

L'année 2021 a été marquée par des vagues de chaleurs exceptionnelles et de grands feux incontrôlés, des records de température ont été atteints (le 11 août, record européen de 48,8° C en Sicile), de violentes précipitations en Europe du Nord en juillet et une grave sécheresse pour la deuxième année consécutive en Amérique du Sud, entraînant des pertes agricoles conséquentes.

Enfin, les concentrations de dioxyde de carbone (CO₂) et méthane (CH₄) ont poursuivi leur progression en 2021, atteignant les records mondiaux.

I-1-2-Les prévisions

Le sixième rapport d'évaluation⁶ du GIEC a été publié en août 2021. Les principaux messages sont les suivants^{7,8} :

1. **l'influence de l'homme est sans équivoque**, y compris en termes d'événements extrêmes ;
2. **le niveau de réchauffement global de 1,5° C sera atteint dans la période 2021-2040** quels que

2 Marie-Cécile Damave (mars 2015) Agriculture climato-intelligente : mobilisation mondiale des chercheurs scientifiques <https://www.agrideas.com/app/uploads/2021/04/Agriculture-climato-intelligente-Montpellier-mars-2015-MCDH.pdf>

3 Patrick Caron, Sébastien Treyer (2015) L'agriculture climato-intelligente et les arènes de la négociation internationale sur le changement climatique, in *Changement climatique et agricultures du monde, Agricultures et défis du monde*, collection CIRAD-AFD, Éditions QUAE

4 Copernicus, communiqué de presse du 10 janvier 2021 : les sept dernières années sont les plus chaudes jamais enregistrées dans le monde et les concentrations de dioxyde de carbone et de méthane continuent d'augmenter <https://climate.copernicus.eu/copernicus-globally-seven-hottest-years-record-were-last-seven>

5 World Meteorological Organization (Octobre 2021) State of the Global Climate 2021 https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21982#:~:vZVjMIldU

6 IPCC, AR6 Climate Change 2021 : the physical science basis <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM>

7 Synthèse de Thierry Caquet, DS Environnement INRAE (28 septembre 2021), Agriculture et changement climatique : impacts, atténuation et adaptation, Institut Planète A, Séminaire carbone.

8 D'après Serge Zaka (12 octobre 2021) Congrès européen du sorgho, Toulouse

soient les efforts de réduction immédiate des émissions mondiales de CO₂ ;

3. L'Europe devrait être impactée différemment selon 3 zones distinctes. Les projections de répartition régionale des précipitations et des sécheresses des sols en fonction du réchauffement global indiquent :

- une **augmentation de l'évapotranspiration** : la sécheresse des sols s'accroît dans de nombreuses régions même si la moyenne mondiale des précipitations annuelle augmente. La répartition des précipitations évolue au cours de l'année vers des étés de plus en plus secs (précipitations en forte baisse de juin à septembre) et des hivers de plus en plus humides. Les précipitations devraient devenir plus intenses et moins efficaces ;

- **la zone méditerranéenne devient une sorte de « hot spot » du changement climatique** : elle sera parmi celles les plus affectées par la baisse des précipitations annuelles et l'augmentation de l'assèchement des sols ;

- **les températures moyennes devraient augmenter de 2 à 6° C selon les régions européennes, et la température extrême de 50° C devrait être atteinte.**

Selon l'Agence européenne pour l'environnement, l'Europe devrait être diversement impactée. Pour celle-ci, la France se retrouve en trois zones distinctes : la moitié ouest devrait connaître de plus en plus de fortes pluies, un risque accru d'inondations et de tempêtes en hiver ; sur le pourtour méditerranéen, il devrait y avoir davantage de périodes de grande chaleur, de moins en moins de précipitations, un risque accru de sécheresse et donc une baisse des rendements des cultures et des conditions d'élevage plus difficiles ; enfin dans la moitié est, les précipitations devraient baisser en été et le risque d'inondation devraient augmenter (*Voir Annexe II*).

• I-2-Impacts du changement climatique sur la production agricole et alimentaire

À l'échelle de la planète, la Banque Mondiale souligne l'extrême vulnérabilité⁹ de l'agriculture face au changement climatique. La FAO identifie les impacts suivants du changement climatique sur la production agricole¹⁰ :

- baisse des rendements de certaines plantes cultivées et de leurs qualités nutritionnelles (céréales et légumineuses en particulier) et de la productivité des animaux d'élevage en raison des niveaux élevés de CO₂ dans l'atmosphère ;
- augmentation des taux de métaux lourds dans les cultures (arsenic dans le riz notamment) avec la montée des températures ;
- progression de l'incidence des ravageurs et des maladies au stade de la production ; des agents pathogènes d'origine alimentaire et des mycotoxines aux stades du stockage, de la transformation et du transport, en raison des stress hydriques et thermiques.

Le rapport spécial du GIEC¹¹ portant spécifiquement sur les liens entre changement climatique et sols a sensibilisé au sujet. Le 2^e volume du 6^e rapport d'évaluation du GIEC, publié en février 2022, se concentre sur les impacts du changement climatique et les stratégies d'adaptation. Il évoque notamment les **solutions inspirées de la nature** (les « nature-based solutions »), dont la **santé des sols**. L'Europe devrait être moins impactée que d'autres régions du monde, ce qui renforce sa responsabilité dans la sécurité alimentaire des populations de pays à risques.

L'Agence européenne de l'environnement¹² note que c'est finalement une « cascade d'impacts » (*voir Annexe III*) du changement climatique qui affecte les agro-écosystèmes et la production agricole européenne, ce qui a un effet sur les prix, la quantité et la qualité des produits, et par

9 The World Bank (April 2021) Climate-Smart Agriculture <https://www.worldbank.org/en/topic/climate-smart-agriculture>

10 FAO (2021) Climate change, biodiversity and nutrition nexus – Evidence and emerging policy and programming opportunities <https://doi.org/10.4060/cb6701en>

11 GIEC (2019) Changement climatique et terres émergées https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_fr.pdf

12 European Environment Agency (2019) Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe <https://www.eea.europa.eu/publications/cc-adaptation-agriculture>

conséquent la configuration des échanges commerciaux, les revenus agricoles et les prix des denrées alimentaires. Cette agence classe les impacts du changement climatique en deux catégories : les effets directs (modification de la phénologie et des calendriers de culture, déplacement des zones de production, perte de sols, modification de la disponibilité en eau des besoins d'irrigation, réduction des rendements) et les effets indirects (modifications importantes de la pression des ravageurs, des maladies, des espèces envahissantes et multiplication des événements extrêmes).

En France, l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC) décrit l'état du climat et ses impacts selon un certain nombre d'indicateurs¹³. En matière de **phénologie**, cet observatoire constate que la date des vendanges se tient en moyenne 18 jours plus tôt qu'il y a 40 ans, sur l'ensemble des vignobles français. Ce décalage est corrélé essentiellement avec l'évolution des températures (voir Annexe IV). Après dix ans de recherche en partenariat, le projet LACCAVE¹⁴ a conclu que la précocité des dates du développement de la vigne la rend plus vulnérable aux gelées de printemps, les stress hydriques sont plus prononcés dans le sud de la France avec des effets sur les rendements, les caractéristiques des vins se modifient avec plus d'alcool, des baisses d'acidité et des modifications d'arômes, et de nouveaux territoires deviennent favorables à la plantation de vignes.

Concernant les grandes cultures, l'ONERC note que les **dates de semis du maïs** sont de plus en

plus précoces, quelle que soit la localisation en France des parcelles étudiées. La variabilité est plus élevée pour le blé et il n'est pas possible de tirer de conclusion tendancielle sur ce critère.

Cependant, les **cycles physiologiques se raccourcissent** du fait d'une maturité plus précoce en saison (de 3 à 4,5 semaines en moyenne sur 30 ans respectivement pour le blé et le maïs). La moisson est également de plus en plus précoce : elle se tient à présent environ 10 jours plus tôt qu'il y a 30 ans en France¹⁵.

D'autre part, le changement climatique contribue pour 50 % à ralentir la progression des rendements en blé tendre d'hiver. Pour Arvalis, la variabilité du climat (excès d'eau, sécheresses, températures, rayonnement...) est beaucoup plus forte depuis le milieu des années 1990, ce qui se traduit par une stabilisation des rendements¹⁶. Les rendements moyens de l'orge de printemps sont impactés de la même manière. À l'inverse, les rendements en betterave sucrière continuent de progresser, grâce à une période de végétation plus longue.

L'adaptation au changement climatique est donc une nécessité à court terme et diverses stratégies sont d'ores et déjà mises en place. Cependant, l'adaptation devra être complétée par des actions de plus long terme pour atténuer le changement climatique. Pour cela, il est nécessaire de comprendre comment l'action de production agricole contribue à ce changement climatique, en particulier au travers de ses émissions de gaz à effet de serre.

13 Ministère de la Transition écologique (novembre 2020) Impacts du changement climatique : agriculture et forêt <https://www.ecologie.gouv.fr/impacts-du-changement-climatique-agriculture-et-foret>

14 LACCAVE : dix ans de recherche en partenariat pour l'adaptation de la viticulture au changement climatique <https://www.inrae.fr/actualites/laccave-dix-ans-recherche-partenariat-ladaptation-viticulture-au-changement-climatique>

15 Intercéreales, Passion céréales, Arvalis (7 avril 2021) Changement climatique : les transitions à l'œuvre dans la filière céréalière https://arvalis.wedia.fr/file/galleryelement/pj/5d/2e/d0/78/cereales_climat_7avr_i16093603266762460493.pdf

16 Arvalis (Janvier 2022) Changement climatique : les leviers d'adaptation pour les céréales <https://www.arvalis-infos.fr/changement-climatique-les-leviers-d-adaptation-pour-les-cereales-a-paille-@/view-36419-arvarticle.html>

• I-3-Impacts de la production agricole et alimentaire sur le changement climatique

Scientific American¹⁷, avec une contribution de 57 % pour les productions animales et 29 % pour les productions végétales. (Voir Annexe V)

Part de l'agriculture dans les émissions totales

À l'échelle mondiale, la production agricole et alimentaire génère un total de 17 milliards de tonnes de gaz à effet de serre selon une récente étude publiée dans Nature Food et reprise dans

Comparaison des émissions de GES dans l'UE et en France selon le ministère de la Transition écologique, le CITEPA, la Commission européenne et l'Agence européenne de l'énergie^{18,19,20} en 2018 :

	Union européenne	France
Émissions totales hors UTCATF (Mt éq CO₂)	3764	445
Émissions de l'agriculture (Mt éq CO₂)	439 (en 2017)	79 (en 2018) 83 (en 2019)
Émissions négatives UTCATF* (Mt éq CO₂)	263	26
Bilan net (Mt éq CO₂)	3764 - 263 = 3501	445 - 26 = 419
Émissions de GES (en éq CO₂) tous secteurs	CO ₂ 81 % CH ₄ 10 %	2019 : CO ₂ 75 % CH ₄ 13 % N ₂ O 9 %
Émissions de GES (en éq CO₂) De l'agriculture	CH ₄ 38 % N ₂ O 32 %	CH ₄ 45 % N ₂ O 42 % CO ₂ 13 %
Évolution des émissions de GES (tous secteurs) depuis 1995		Baisse de 25 % des émissions intérieures Hausse de 72 % des émissions liées aux importations
Évolution des émissions de GES (agriculture) depuis 1995	Baisse de 20 % : baisse du cheptel bovin, meilleure performance des animaux et réduction de la fertilisation azotée (Directive nitrates)	Baisse de 10 % : baisse du cheptel bovin et réduction de la fertilisation azotée. Point de vigilance : la baisse est plus lente que dans les autres secteurs d'activité
Empreinte carbone par habitant en 2019 (t éq CO₂)	7,8	6,6

* UTCATF (Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie).

17 Andrea Thompson (13 September 2021) Here's how much food contributes to climate change, Scientific American <https://www.scientificamerican.com/article/heres-how-much-food-contributes-to-climate-change/#>
 18 Ministère de la Transition écologique, chiffres clés du climat - France, Europe, Monde, édition 2021 <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/8-panorama-europeen-des-gaz-a>
 19 European Commission, Tackling climate change (2021) https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/sustainability/environmental-sustainability/climate-change_en
 20 Ministère de la Transition écologique (février 2021) L'environnement en France – Rapport sur l'état de l'environnement <https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/defis-environnementaux/changement-climatique/emissions-de-gaz-a-effet-de-serre/article/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-de-l-agriculture#:~:text=L'agriculture%20a%20%C3%A9mis%20en,12%20Mt%20de%20CO2>

Les tonnes équivalent CO₂ (t_{éq} CO₂) sont définies selon les Pouvoir de réchauffement global (PRG) de chacun des GES²¹. Certains ont une durée de vie longue (forceurs climatiques) et d'autres une

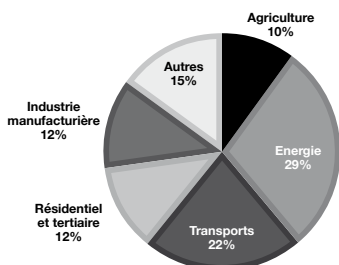
durée de vie courte. Voici un tableau comparatif des caractéristiques des trois principaux gaz à effet de serre²² :

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
PRG à 100 ans	1	25 à 28	265 à 298
Durée de vie	Longue	Longue	Courte

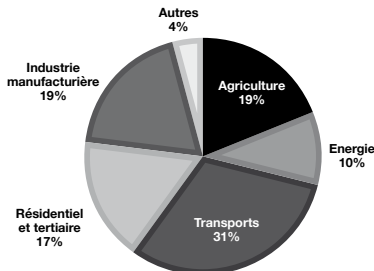
Les émissions sont en baisse depuis une trentaine d'années (*voir Annexe VI*), essentiellement en raison des efforts de l'industrie (énergie et manufacturière). La répartition des contributions de chaque secteur d'activité est assez différente entre la France et l'UE, du fait

que l'énergie en France est essentiellement générée par le nucléaire, faiblement émetteur de GES, et parce que la production agricole occupe une place plus importante en France que dans l'ensemble de l'UE.

CONTRIBUTION DES SECTEURS D'ACTIVITÉ AUX ÉMISSIONS DE GES - UNION EUROPÉENNE - 2018



CONTRIBUTION DES SECTEURS D'ACTIVITÉ AUX ÉMISSIONS DE GES - FRANCE - 2019



Source : Ministère de la Transition écologique, chiffres clés du climat - France, Europe, Monde, édition 2021.

Principaux gaz à effet de serre :

Si le dioxyde de carbone (CO₂) est le gaz à effet de serre le plus émis, tous secteurs d'activité confondus, en Europe et en France, ce sont en revanche les deux autres principaux gaz à effet de serre (méthane - CH₄ - et protoxyde d'azote - N₂O) qui sont émis par le secteur agricole, surtout via les sols (avec les émissions de N₂O)

et la fermentation entérique (avec les émissions de CH₄) (*Voir Annexe VII*). À l'inverse, notons que l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie (UTCATF) stockent plus de carbone qu'ils n'en émettent. Les efforts du monde agricole pour réduire son empreinte climatique doivent donc se concentrer sur la réduction des émissions de

21 Cet indicateur a été défini par le Groupe international d'experts sur le climat (GIEC) pour fournir une mesure simple des effets relatifs des émissions des divers gaz à effet de serre. Cet indicateur est défini comme le forçage radiatif cumulé entre la situation actuelle et un horizon donné causé par une unité de masse de gaz émise aujourd'hui. Le CO₂ sert de référence (PRG = 1)

22 Centre technique de référence en matière de pollution atmosphérique et de changement climatique (CITEPA) <https://www.citepa.org/fr/ges/>. Il existe d'autres gaz à effet de serre (HFC, PFC, SF₆, NF₃...) qui ont des PRG très élevés (de 7 000 à 23 000) mais émis en très faibles quantités. Ils ne seront pas traités dans cette note.

CH₄ et de N₂O et l'augmentation du stockage de carbone dans les sols. En 2019, pour l'agriculture française, l'élevage était

le premier contributeur des émissions de GES (48 %) suivi de cultures (40 %) et de la consommation énergétique de la production agricole (12 %).

Émissions de N₂O et de CH₄ par l'agriculture :

	N ₂ O	CH ₄
Émissions de l'agriculture en 2019 en France	35 Mt éq CO ₂ Soit 89 % des émissions totales de N ₂ O de la France.	37,5 Mt éq CO ₂ Soit 67 % des émissions totales de CH ₄ de la France ²⁵ (voir Annexe VIII).
Origines agricoles	Pratiques culturales : épandage de fertilisants azotés minéraux et organiques.	Fermentation entérique des ruminants, effluents d'élevage, culture du riz.

II-RÉGLEMENTATION ET POLITIQUES PUBLIQUES – OBJECTIFS STRATÉGIQUES

Pour atteindre l'objectif affiché de neutralité carbone en 2050, le principal défi des politiques climatiques est de **décorrélérer les émissions de GES de la croissance économique**²⁴. Cela implique de mettre en place des stratégies bas carbone, d'accroître la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique, d'améliorer l'efficacité énergétique des biens et services et de changer nos habitudes de vie vers plus de sobriété énergétique. Les chaînes de valeurs étant souvent internationalisées, les efforts de réduction des émissions réalisés dans certaines zones géographiques peuvent être réduits à néant par l'accroissement des émissions dans d'autres régions du monde.

• II-1-Monde

La lutte contre le changement climatique fait spécifiquement l'objet d'un des **17 Objectifs de développement durable (ODD)** affichés par les Nations unies depuis 2015 : l'ODD 13 invite en effet à « Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et

leurs répercussions²⁵ ».

La Convention Cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CNUCC) est le traité international visant à éviter les impacts anthropiques dangereux pour le climat adopté à Rio de Janeiro en 1992. Les membres de la CNUCC se réunissent chaque année pour la Conférence des Parties (COP). La 26^e COP a eu lieu à Glasgow en novembre 2021 sous la présidence du Royaume-Uni²⁶. La France, en tant que Partie à la CNUCC, doit participer à son objectif ultime, à savoir « stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ». (Voir Annexe IX). **L'Accord de Paris sur le climat**, adopté le 12 décembre 2015, quantifie l'objectif de la CNUCC : limiter à 2° C, voire 1,5° C le réchauffement global d'ici 2100 par rapport aux niveaux préindustriels et atteindre la neutralité carbone au cours de la seconde moitié du 21^e siècle. **L'initiative 4 pour 1 000**²⁷ a été lancée par la France lors de la COP21 de 2015. Aujourd'hui d'envergure internationale, cette initiative propose d'augmenter la contribution des sols, au niveau mondial, à la compensation des

23 PNUME Global methane assessment : Benefits and costs of mitigating methane emissions (6 May 2021)

<https://www.unep.org/resources/report/global-methane-assessment-benefits-and-costs-mitigating-methane-emissions>

24 OECD (2022), Environment at a Glance Indicators, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/ac4b8b89-en>.

25 Nations unies, Département des Affaires économiques et sociales, Développement durable, Objectif 13 <https://sdgs.un.org/fr/goals/goal13>

26 Ministère de la Transition écologique (2021) Chiffres clés du climat France, Europe et Monde, édition 2021 <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/16-negociations-internationales>

27 <https://4p1000.org/fr>

émissions de gaz carbonique dans l'atmosphère dues aux activités humaines. Si la teneur en carbone organique des sols mondiaux augmentait de 0,4 % par an dans les premiers 30 à 40 cm de sol, l'augmentation annuelle de CO₂ dans l'atmosphère serait considérablement réduite (contribuant à stabiliser le climat) et la fertilité des sols en serait meilleure (contribuant à la sécurité alimentaire (*Voir Annexe X*)).

Lors de la COP26, plus de 100 pays se sont engagés à réduire leurs émissions de méthane de 30 % entre 2020 et 2030 en signant le « **Global Methane Pledge**²⁸ ». Cet objectif répond au constat du Programme des Nations unies pour l'Environnement que les engagements d'atténuation et les CDN, à ce jour insuffisants, devraient être en faveur d'une réduction de 30 % des émissions à l'horizon 2030. L'UE ne contribue qu'à 5 % des émissions mondiales de méthane. Dans sa stratégie²⁹ (octobre 2010) pour réduire les émissions de méthane, la Commission européenne situe les principaux leviers de réduction des émissions d'abord dans le secteur de l'énergie, puis celui de l'agriculture. Pour ce dernier, elle identifie deux voies de réduction d'émissions : le développement de la production de biogaz par méthanisation agricole et les changements de mode de vie et d'alimentation (*voir chapitre IV-1*).

Virtuellement réunis lors de la conférence internationale annuelle de Berlin « **Global Forum for Food and Agriculture** » le 28 janvier 2022, les ministres de l'Agriculture de 68 pays ont publié un communiqué commun intitulé « Utiliser les sols durablement : la sécurité alimentaire commence avec les sols³⁰ ».

Dans ce document, les ministres s'engagent à « intensifier leurs efforts pour adapter les systèmes agricoles au changement climatique, maintenir ou augmenter les stocks de carbone organique ».

Le concept complexe de **système alimentaire durable** est apparu assez récemment au niveau international. La FAO³¹ en donne la définition suivante : « un système qui assure la sécurité alimentaire et la nutrition pour tous de manière à ne pas compromettre les bases économiques, sociales et environnementales nécessaires pour assurer la sécurité alimentaire et la nutrition des générations futures. Cela signifie qu'il est rentable tout au long du processus, qu'il assure la durabilité économique, qu'il présente des avantages à grande échelle pour la société, qu'il assure la durabilité sociale et qu'il a un impact positif ou neutre sur l'environnement des ressources naturelles, en protégeant la durabilité de l'environnement ».

• II-2-Union européenne

La politique climatique européenne comporte des objectifs de réduction des émissions de GES et de progression de la part des renouvelables dans la consommation énergétique totale. Les principales dimensions de la politique climatique européenne sont les suivantes³² :

28 Marie-Cécile Damave (9 novembre 2021) COP26 : Quels impacts du « Global Methane Pledge » pour l'agriculture européenne ? <https://www.agridees.com/analyses/cop26-quels-impacts-du-global-methane-pledge-pour-lagriculture-europeenne/>

29 Commission européenne (14 octobre 2020) Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des Régions sur la Stratégie de l'UE pour réduire les émissions de méthane <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0663&from=EN>

30 14th Berlin Agriculture Ministers' Conference-Final Communiqué 2022 : Sustainable Land Use: Food Security Starts with the Soil <https://www.gffa-berlin.de/wp-content/uploads/2015/10/gffa-2022-kommunique-en.pdf>

31 <https://www.fao.org/food-systems/fr/>

32 CITEPA (2021) https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secter/Citepa_Rapport-Secten_ed2021_v1_30072021.pdf et MTE (2021) Chiffres clés du climat France, Europe et Monde <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/22-politiques-de-lutte-contre-le>

Secteurs d'activité	Les plus émetteurs :	Secteurs hors SEQE (Transports, bâtiments, agriculture...)	Secteurs UTCATF
Outils mis en place	Système d'échange de quotas d'émissions (SEQE) : marchés du carbone mis en place depuis 2005 pour permettre à ces industries d'atteindre les objectifs de réduction d'émissions de GES.	Partage de l'effort (Effort Sharing Decision) : objectifs fixés pour chaque État membre	
Objectifs de réduction d'émissions Paquet Énergie Climat 2013-2020 (approuvé en 2007)	- 21 % en 2020, base 2005 - 43 % pour 2030, base 2005 Non décliné par État membre	-10 % en 2020 (base 2005) Plafonds fixés par État membre Plafond France 2019 : 347,7 Mt éq CO ₂ Non dépassé (336,4 Mt émis) Plafond France 2020 : 342,5 Mt éq CO ₂	
Objectifs de réduction d'émissions Paquet Énergie Climat 2021-2030 (approuvé en 2014)	- 43 % en 2030 (base 2005)	-30 % en 2030 (base 2005)	
Règlement 2018/841 : objectif de puits net			Niveau forestier de référence fixé pour 2021-2025 et 2026-2030

Green Deal ou **Pacte Vert** (2019) : neutralité climatique en 2050, croissance dissociée de l'utilisation des ressources, ne laisser personne ni aucun endroit de côté.

Stratégie de la Commission européenne relative à l'adaptation au changement climatique (2021) : pour une résilience équitable, intelligente (basée sur des données mesurées, en particulier sur un observatoire européen du climat et de la santé³³) et intégrant des solutions fondées sur la nature (en particulier les puits de carbone). Les éco-régimes de la PAC et l'agriculture bas carbone (« carbon farming ») sont fléchés comme faisant partie intégrante de ces solutions³⁴.

Directive spécifique aux énergies renouvelables (2009/28/CE) : est en cours de révision pour intégrer les orientations du paquet législatif Fit for 55. Elle fixait un objectif pour 2020 de 20 % pour l'UE pour la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale brute et un pourcentage spécifique à chaque État membre. Celui-ci était de 23 % pour la France. Il n'a pas été atteint, le taux ayant été de 19,1 % (*Voir Annexe XI*).

Communication de la Commission sur les « **Cycles du carbone durable** »³⁵ (2021) : **carbon farming** (ou **agriculture bas carbone**) et bioéconomie circulaire. Les trois leviers envisagés par la Commission pour atteindre la neutralité carbone en 2050 sont la réduction de la consommation de carbone fossile, le retrait du carbone de l'atmosphère ainsi que le recyclage et la réutilisation du carbone dans les cycles de carbone durable³⁶.

33 <https://climate-adapt.eea.europa.eu/observatory>

34 Marie-Cécile Damave (12 mars 2021) La « résilience juste » doit guider la Stratégie européenne d'adaptation au changement climatique, Agridées <https://www.agrideas.com/articles/la-resilience-juste-doit-guider-la-strategie-europeenne-dadaptation-au-changement-climatique/>

35 European Commission (15 December 2021) Communication from the Commission to the European Parliament and the Council – Sustainable Carbon Cycles https://ec.europa.eu/clima/system/files/2021-12/com_2021_800_en_0.pdf

36 Marie-Cécile Damave (11 février 2022) Carbon farming: the devil is in the details <https://www.agrideas.com/articles/carbon-farming-the-devil-is-in-the-details/>

Stratégie « Farm to Fork » (« De la ferme à la table ») : « un système alimentaire durable sera essentiel pour atteindre les objectifs environnementaux du Pacte Vert, en particulier climatiques et en termes de biodiversité, tout en améliorant le revenu des agriculteurs et en renforçant la compétitivité de l'UE ». Parmi les effets attendus de cette initiative : la réduction des émissions de GES tout au long de la chaîne alimentaire et la création de puits de carbone ; la préservation des ressources naturelles et la prévention de la pollution en réduisant les utilisations et les risques liés aux pesticides et en encourageant l'utilisation efficace des engrais et la réduction et la gestion des déchets. La feuille de route a été publiée en 2021, et après consultation du public en 2022, l'adoption par la Commission est prévue pour 2023. En juillet 2021, la Commission européenne a lancé un code de conduite sur les pratiques commerciales et marketing responsables dans le domaine de l'alimentation (Code of Conduct on Responsible Food Business and Marketing Practices), dans le cadre de la stratégie Farm to Fork.

Paquet législatif **Fit for 55**³⁷ (2021) Ajouter les secteurs du transport et du bâtiment au SEQE

-55 % des émissions de GES d'ici 2030 par rapport à 1990	Développer les puits de carbone (forêt et agriculture)
Nouveau mécanisme d'ajustement carbone aux frontières,	Cycles de carbone durable : carbon farming et bioéconomie circulaire
Accélérer la décarbonation de secteurs tels que l'automobile et le bâtiment à l'aide de normes climatiques plus exigeantes	
Directive énergies renouvelables (EnR) : augmenter la part des EnR à 40 % d'ici 2030 avec des critères de durabilité renforcés.	

PAC et changement climatique :

- Les règles de conditionnalités soumettent les aides PAC à un ensemble de gestion de bonnes pratiques agricoles et environnementales qui participent à l'adaptation au changement climatique (couverture minimale des sols contribuant à stocker du carbone).
- Mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC) : accompagnement des exploitations agricoles qui développent des pratiques combinant performances économique et environnementale ou dans le maintien de telles pratiques lorsqu'elles sont menacées de disparition. Leur rémunération est fondée sur les surcoûts et manques à gagner qu'impliquent le maintien ou le changement de pratiques³⁸.
- Adaptation et atténuation du changement climatique : un des neuf grands objectifs de la future PAC qui s'appliquera à partir de 2023. Les **éco-régimes** seront de nouveaux instruments dont bénéficieront les agriculteurs qui mettront en place des actions de protection de l'environnement et de lutte contre le changement climatique (agriculture bas carbone, agriculture de précision, pratiques agroécologiques, agriculture bio par exemple³⁹).
- **Le plan stratégique national** proposé par la France à la Commission européenne en décembre 2021 intègre l'enjeu du changement climatique aux côtés de la compétitivité durable des filières et de la sécurité alimentaire européenne⁴⁰.

37 Ministère de la Transition écologique (15 juillet 2021) « Fit for 55 » : un nouveau cycle de politiques européennes pour le climat <https://www.ecologie.gouv.fr/fit-55-nouveau-cycle-politiques-europeennes-climat>

38 Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (6 avril 2021) : MAEC : les nouvelles mesures agro-environnementales et climatiques de la PAC <https://agriculture.gouv.fr/maec-les-nouvelles-mesures-agro-environnementales-et-climatiques-de-la-pac>

39 Commission européenne (janvier 2021) List of potential agricultural practices that Eco-schemes could support https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/key_policies/documents/factsheet-agri-practices-under-ecoscheme_en.pdf

40 Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (7 janvier 2022) PAC 2023-2027 : proposition de PSN de la France transmise à la Commission européenne <https://agriculture.gouv.fr/pac-2023-2027-proposition-de-psn-de-la-france-transmise-la-commission-europeenne>

• II-3-France

La feuille de route de la France contre le changement climatique pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 est dans la Stratégie nationale bas carbone (SNBC), initialement

sortie en 2015 et révisée en 2018-2019. Elle définit une trajectoire de réduction des émissions de GES jusqu'en 2050. Le tableau suivant résume cette stratégie ainsi que les autres politiques nationales liées :

Politiques publiques

SNBC

2015-2018 : Budget carbone = 441 Mt éq CO₂, dont agriculture 85
Dépassement : moyenne 456 Mt dont agriculture 87
2019-2023 : Budget carbone = 422 Mt éq CO₂
Émissions 2019 = 436 Mt éq CO₂
Émissions 2020 = 396 Mt éq CO₂
2024-2028 : Budget carbone = 359 Mt éq CO₂
2029-2033 : Budget carbone = 300 Mt éq CO₂
2050 : neutralité climatique : puits UTCATF = émissions des autres secteurs = 80 Mt éq CO₂ (émissions résiduelles)

Agriculture : réduire les émissions de 18 % en 2030 par rapport à 2015, puis de 46 % en 2050.

Plan d'action du ministère de l'Agriculture⁴¹ (*Voir Annexe XII*)

- Offre : pratiques atténuant les émissions, potentiel accru de séquestration du carbone, accompagnement de l'adaptation, formation recherche et innovation pour l'atténuation et l'adaptation

- Demande : consommation de produits alimentaires à moindre impact environnemental, impact carbone des activités du ministère

20 72 Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE)

Fixe les priorités d'action des pouvoirs publics dans le domaine de l'énergie afin d'atteindre les objectifs de politique énergétique définis par la loi.

Période 2019-2028 :

- Fixe une trajectoire et un cap pour toutes les filières énergétiques afin d'atteindre la neutralité carbone en 2050.

- Principaux leviers : réduction de la consommation énergétique (baisse de la consommation d'énergie finale de 20 % en 2030, et en particulier de la consommation de combustibles fossiles : -40 % en 2030) et la diversification du mix énergétique.

- **Priorité au développement des énergies renouvelables** : augmentation de la part des énergies renouvelables à 33 % de la consommation brute d'énergie finale en 2030, doublement des capacités installées des énergies renouvelables électriques en 2028 par rapport à 2017, augmentation de 40 à 60 % de la production de chaleur renouvelable dès 2028, accroissement du soutien de l'État à la filière biogaz à hauteur de 9,7 milliards d'euros pour qu'elle représente 6 à 8 % de la consommation de gaz en 2028 et augmentation du soutien financier à la filière hydrogène en particulier (*Voir Annexe XIII*).

Biocarburants : loi de finances, PPE, loi pour la transition énergétique et la croissance verte (LTECV)

Des **objectifs d'incorporation de biocarburants** sont fixés chaque année dans la loi de finances. Essence et le gazole : 7 % en 2009.

Ils ont augmenté progressivement jusqu'en 2021 pour atteindre 8,6 % pour les essences et 8 % pour le gazole.

LTECV : priorité aux biocarburants avancés

PPE : fixe les taux d'incorporation pour les biocarburants avancés en 2023 et 2028 :

4. de 1,2 % à 3,8 % pour la filière essence

5. de 0,4 % à 2,8 % pour la filière gazole

41 Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (juin 2021) Plan d'action – Stratégie nationale bas carbone <https://agriculture.gouv.fr/plan-daction-climat-du-ministere-de-lagriculture-et-de-lalimentation>

Loi AGECE (Lutte contre le gaspillage et économie circulaire) (2020)	Réduire la production de déchets, recycler et allonger la durée de vie des produits, pour ainsi réduire les émissions de CO ₂ . Lancement des travaux de l'ADEME sur l'affichage environnemental sur les produits textiles et alimentaires, afin d'éclairer les consommateurs sur les produits les plus responsables et les éclairer dans leurs choix.
Loi Climat et résilience (2021)	Issue de la Convention citoyenne pour le climat Impact sur la production agricole : taxation des produits azotés, avec un système de redevance en cas de non-respect des trajectoires de réduction prévues par la SNBC. L'enjeu principal est de réduire les excès d'apport d'azote.

Soulignons que, malgré les efforts déjà réalisés, le Haut Conseil pour le Climat considère que « les politiques publiques ne sont pas assez alignées avec les orientations de la SNBC⁴² ». Autres actions publiques relatives au climat :

Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique⁴³ (2021-2022)	Réflexion collective entre pouvoirs publics et acteurs économiques des filières. Réforme de l'assurance-récolte : couverture universelle contre les risques climatiques accessible à tous les agriculteurs Signature d'une charte dans laquelle les filières agricoles s'engagent à définir une gouvernance pour suivre les travaux d'adaptation et à finaliser une feuille de route d'adaptation et d'atténuation Annonces de financement de l'innovation (dans le cadre de France relance), en particulier pour aider les agriculteurs à acquérir du matériel d'adaptation aux aléas climatiques, à moderniser leurs serres ou à mieux gérer la ressource en eau.
---	---

Méthanisation : mission d'information du Sénat⁴⁴ (2021)	Sécuriser et consolider cette filière, en faveur d'un « modèle français de la méthanisation » c'est-à-dire qui tient compte des spécificités des territoires, privilégiant la méthanisation des effluents d'élevage à l'aide d'une prime, les cultures intermédiaires et les déchets de céréales, au détriment des cultures dédiées (limitées à 15 %) Objectif : réduction des émissions de méthane dues aux effluents d'élevage
---	---

Alimentation durable : loi EGALIM, loi Climat et résilience, politique alimentaire territoriale	Loi EGALIM : restauration collective : un élément-clé de l'alimentation, un levier pour modifier les comportements alimentaires : elle doit être exemplaire en termes de nutrition, qualité, gaspillage et lien social. Loi Climat et résilience : - la restauration collective doit élargir l'assiette avec des produits issus du commerce équitable et des produits à haute valeur environnementale ; - 60 % des viandes et des produits de la mer servis doivent présenter des signes de qualité ; - une nouvelle expérimentation pour proposer une option végétarienne quotidienne dans les collectivités ; - une obligation de mettre en place un système de réservation pour réduire le gaspillage alimentaire Politique alimentaire territoriale⁴⁵ introduite dans la loi d'avenir pour l'alimentation, l'agriculture et la forêt du 13 octobre 2014, accélérée par le Plan de relance mis en place suite à la pandémie de Covid-19, en bonne place dans la loi Climat et résilience.
--	--

42 Haut Conseil pour le Climat (juin 2021) Rapport annuel 2021 – Renforcer l'atténuation, engager l'adaptation https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2021/06/HCC_rapport-annuel_0821.pdf

43 Tous les travaux autour des 3 thématiques du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique <https://agriculture.gouv.fr/tous-les-travaux-autour-des-3-thematiques-du-varenne-agricole-de-leau-et-de-ladaptation-au>

44 Gabrielle Dufour (21 octobre 2021) Sénat : pour un modèle français de la méthanisation <https://www.agriledes.com/articles/senat-pour-un-modele-francais-de-la-methanisation/>

45 <https://agriculture.gouv.fr/quest-ce-quin-projet-alimentaire-territorial>

III-LES LEVIERS DE L'OFFRE À LA FERME

Pour l'agriculture, **s'adapter** au changement climatique consiste essentiellement à ajuster ses pratiques et techniques de production en fonction des nouvelles conditions limitantes liées à l'eau (sécheresses, inondations) ou à la température (vagues de chaleur, canicules, gel...), et à protéger les productions contre les épisodes de grêle ou de vents violents. Les actions d'adaptation au stress hydrique sont généralement les plus impactantes : accès et disponibilité en eau par les équipements (systèmes d'irrigation, retenues d'eau) travail du sol en cas de surplus d'eau et lutte contre le ruissellement et l'érosion, efficacité d'utilisation de l'eau par les plantes cultivées et les animaux d'élevage (génétique, conduite des troupeaux et des cultures).

D'autre part, **atténuer** le changement climatique signifie réduire les émissions de gaz à effet de serre : en captant le CO₂ de l'air par les plantes grâce à la photosynthèse, en limitant les émissions de CO₂, N₂O et de CH₄ dues aux pratiques agricoles et en stockant le carbone dans les sols (émissions négatives).

Pour cela, un certain nombre de pratiques agronomiques, techniques et technologies sont déployées, faisant appel à un ensemble de connaissances, de sciences et d'outils.

Afin d'éclairer ces actions, des outils d'observation, de mesure et de modélisation se développent pour affiner leur efficacité, en particulier grâce aux outils d'aide à la décision (OAD). Enfin, la réduction des volumes de GES dans l'air étant mesurée au cours du temps, il devient possible de la valoriser sous forme de crédits carbone. Cela revient à monétiser les actions d'atténuation réalisées par les agriculteurs et les éleveurs à la ferme.

• III-1- Faire : pratiques, techniques, technologies

Le panel des pratiques, techniques et technologies d'adaptation et d'atténuation du changement climatique est souvent ancien, large et bien identifié par les acteurs du monde agricole : travail du sol, pratiques agronomiques, durée de la rotation, choix des espèces et des variétés, de la fertilisation et des équipements, ou encore gestion et valorisation des effluents d'élevage (méthanisation).

III-1-1-Actions et outils d'adaptation

• Généralités

À l'occasion des travaux du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique, un inventaire des leviers techniques⁴⁶ a été réalisé selon trois niveaux : l'exploitation, la parcelle et l'animal.

46 Cellule de coordination nationale ACTA, APCA et INRAE de Recherche Innovation Transfert dédiée à accélérer la diffusion et le transfert de solutions au bénéfice de la transition agroécologique, en collaboration avec le RMT ClimA (réseau mixte technologique sur l'adaptation des exploitations au changement climatique piloté par l'APCA en coanimation avec Arvalis). La présentation en a été faite au Salon international de l'agriculture le 2 mars 2022 lors de la rencontre INRAE « Agriculture, eau et changement climatique » : <https://www6.inrae.fr/rencontres/Les-rencontres-2022/Agriculture-eau-et-changement-climatique>. Cet inventaire reprend des travaux précédemment réalisés par Arvalis (Janvier 2022) Changement climatique : les leviers d'adaptation des céréales à paille <https://www.arvalis-infos.fr/changement-climatique-les-leviers-d-adaptation-pour-les-cereales-a-paille-@/view-36419-arvarticle.html> ; Intercéréales, Passion Céréales, Arvalis (2021) Changement climatique : les transitions à l'œuvre dans la filière céréalière https://arvalis.media.fr/file/galleryelement/pj/5d/2e/d0/78/cereales_climat_7avril6093603266762460493.pdf; ou l'IDELE notamment Jean-Baptiste Dollé (12 février 2020) How to address mitigation and adaptation to climate change in the dairy sector to improve its global sustainability? Climalait https://idele.fr/climalait/publications/detail?tx_atolidelecontenus_publicationdetail%5Baction%5D=showArticle&tx_atolidelecontenus_publicationdetail%5Bcontroller%5D=Detail&tx_atolidelecontenus_publicationdetail%5Bpublication%5D=13710&cHash=310a284ce4e77c107ca052a43ad9bdd3

En voici la synthèse :

	Productions végétales	Productions animales
Échelle de l'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> - Adapter l'assolement : diversifier les espèces et variétés cultivées, stratégie d'esquive des stress... - Piloter la ressource en eau : mobiliser les ressources en eau renouvelables, piloter l'irrigation... 	<ul style="list-style-type: none"> - Piloter la ressource alimentaire : optimiser l'utilisation des prairies et cultures fourragères, sécuriser les ressources alimentaires... - Adapter la conduite en eau : élever des races et espèces adaptées, adapter les stratégies et calendriers de reproduction...
Échelle de la parcelle/ de l'animal	<ul style="list-style-type: none"> - Sols : améliorer leurs propriétés (travail du sol, matière organique, tassement), leur assurer une couverture régulière... - Optimiser la conduite des cultures pérennes (réduire l'échauffement au soleil...) - Cultiver sous abris (ombre, serre) - Mettre en place des infrastructures agroécologiques (talus, arbres, haies) 	<ul style="list-style-type: none"> - Adapter l'alimentation et l'abreuvement (adapter abreuvement, ration et horaires) - Protéger les animaux de la chaleur (ombrage, ventilation des bâtiments...) - Mettre en place des infrastructures agroécologiques (talus, arbres, haies)

Nous avons choisi de nous concentrer dans cette note sur les leviers qui nous paraissent le plus contribuer à la rentabilité économique des entreprises agricoles, aux côtés des pratiques permettant au sol de mieux retenir l'eau et d'en assurer sa bonne disponibilité pour les plantes cultivées (limiter l'érosion et enrichir le taux de matière organique du sol).

• **Sélection variétale – vers des variétés plus résilientes aux stress**

Selon une étude⁴⁷ commandée par l'organisation de l'industrie semencière européenne Euroseeds, la sélection variétale a permis à la productivité des grandes cultures de continuer à progresser ces 20 dernières années dans l'UE malgré le changement climatique. En effet, l'amélioration des plantes est estimée contribuer à hauteur de 66 % à la hausse des rendements, ce qui a permis à l'UE de demeurer un exportateur net de céréales. Cette étude a également évalué la quantité d'émissions de CO₂ évitées grâce à la sélection variétale : environ 4 milliards de tonnes évitées depuis 2000, soit l'équivalent des

émissions annuelles totales de GES. Cela s'explique essentiellement du fait des importations évitées grâce à la progression des rendements. D'autre part, la mobilisation des techniques modernes de sélection variétale (New Genomic Techniques ou NGT) serait un levier supplémentaire, permettant d'accélérer le processus d'amélioration des plantes. Cela reviendrait à éviter jusqu'à 350 millions de tonnes d'équivalent CO₂ d'ici 2030 dans l'UE.

Certaines **variétés⁴⁸ sont déjà sélectionnées selon des critères d'adaptation au changement climatique** : variétés de blés tolérantes aux pucerons ; stratégies d'association en culture de colza pour provoquer la confusion des insectes ravageurs ; pois résistant au gel tardif ; maïs adapté aux semis précoces pour arriver à maturité avant les périodes de sécheresse ; sorgho performant en conditions de faible apport en eau ; association d'espèces (valorisation en culture intermédiaire à vocation énergétique -CIVE, impact sur la structure du sol, booster azoté...).

47 Steffen Noleppa, Matti Carlsburg, HFFA Research GmbH (21 mai 2021) The socio-economic and environmental values of plant breeding in the EU and for selected EU member states <https://www.euroseeds.eu/news/plant-breeding-is-a-game-changer-for-sustainable-agriculture-new-study-shows/>

48 Olivier Lucas, RAGT Semences (décembre 2021) L'amélioration des espèces végétales sur les 20 dernières années et les programmes en cours, point de vue du sélectionneur. Présentation lors du Varenne agricole de l'eau <https://agriculture.gouv.fr/varenne-agricole-de-leau-et-de-ladaptation-au-changement-climatique-1ere-conference-de-la-thematique>

Tolérance au stress hydrique :

De nombreux programmes de sélection utilisant le **phénotypage**, la **prédiction génomique** des réponses et la modélisation se concentrent sur la résilience des plantes face au manque ou à l'excès d'eau. L'impact de la sécheresse sur les plantes est une combinaison des conditions climatiques (météo variable selon les années), de l'exposition (selon les choix agronomiques, tels que la position du cycle dans l'année) et la vulnérabilité des plantes (facteur génétique, espèce et variété)⁴⁹.

Les **biotechnologies** fournissent des outils de sélection complémentaires (phénotypage, sélection assistée par marqueurs, sélection génomique, mutagenèse non ciblée, édition de génomes) pour stabiliser les rendements et la production avec moins d'intrants malgré des conditions climatiques limitantes⁵⁰ : tolérance/résistance, utilisation de l'eau plus efficace, précocité d'implantation et de floraison, aptitude à l'association entre espèces et variétés, optimisation des traits pour des couverts diversifiés, caractères d'interaction plante-microbiote en sont des exemples.

En grandes cultures, face à la sécheresse, différentes stratégies sont utilisées en sélection variétale dans un certain nombre de programmes de recherche tels que Amaizing, Breedwheat Peamust et Phénomène : l'évitement en optimisant l'acquisition de l'eau (profondeur d'enracinement, mycorhizes...) ou en l'utilisant plus efficacement (fermeture des stomates, enroulement des feuilles...), l'esquive en raccourcissant la saison de croissance (précocité...) et la tolérance, qui actionne différents mécanismes de survie.

En génétique animale, le programme CAICalor, démarré en 2020, cherche à étudier l'adaptation au changement climatique chez les vaches laitières en production et les reproducteurs d'élite et allaitants, sur les plans phénotypique et génétique : impact du stress climatique sur la production et la reproduction chez les vaches laitières de race Holstein, Montbéliarde et Normande ; sur la production de semences et d'embryons chez les reproducteurs d'élite laitiers et allaitants ; analyses transgénérationnelles de l'effet des stress de chaleur ; et stimulations d'évolutions génétiques dans différents scénarios d'objectifs de sélection⁵¹.

Le choix d'espèces résilientes

Le cas du sorgho

La production mondiale de sorgho est encore marginale. Elle est la cinquième céréale produite avec environ 60 millions de tonnes, loin derrière le maïs (1 200 millions de tonnes), le blé (800 millions de tonnes), le riz (500 millions de tonnes) et plus proche de l'orge (150 millions de tonnes). Par ailleurs, la production européenne ne représente que 1 % de la production mondiale.

Cependant, l'évolution climatique en Europe devrait limiter le potentiel de productivité de certaines plantes actuellement cultivées et la production de sorgho pourrait constituer une alternative intéressante : les zones géographiques favorables à cette culture (températures et précipitations) devraient s'étendre et se décaler vers le nord⁵². En conditions hydriques non limitantes, le sorgho est plus résistant aux

49 François Tardieu, INRAE (décembre 2021) Les enjeux de la génétique pour l'adaptation au changement climatique. Présentation lors du Varenne agricole de l'eau <https://agriculture.gouv.fr/varenne-agricole-de-leau-et-de-ladaptation-au-changement-climatique-1ere-conference-de-la-thematique>

50 Isabelle Litrico-Chiarelli, INRAE (décembre 2021) Les apports des biotechnologies en sélection variétale pour faire face au changement climatique – Présentation lors du Varenne agricole de l'eau <https://agriculture.gouv.fr/varenne-agricole-de-leau-et-de-ladaptation-au-changement-climatique-1ere-conference-de-la-thematique>

51 Roxanne Vallée (Institut de l'Élevage, Sophie Mattalia (Institut de l'Élevage) (15/12/2020) CAICalor : étude de l'adaptation des bovins au changement climatique <https://idele.fr/en/detail-article/caicalor-etude-de-ladaptation-des-bovins-au-changement-climatique>

52 Marie-Cécile Damave (18 octobre 2021) La filière sorgho européenne s'organise <https://www.agridees.com/articles/la-filiere-sorgho-europeenne-sorganise/>

hautes températures que les quatre autres principales céréales cultivées dans le monde⁵³.

Cette espèce a d'autres atouts : elle s'intègre bien dans les rotations culturales longues pour ses qualités agronomiques (bonne valorisation de l'azote en particulier), est valorisable en alimentation animale en pâturage, sous forme d'ensilage ou de grains pour les animaux monogastriques. Les valorisations en alimentation humaine et en énergies renouvelables (bio-éthanol, méthanisation) sont encore faibles mais peuvent également se développer. Il est cependant difficile de monter de nouvelles filières tant les habitudes sont difficiles à changer. La formation des acteurs aux diverses valorisations du sorgho est donc indispensable.

Les acteurs français peuvent être moteurs dans le développement de cette culture et de ces filières qui s'inscrivent dans la lutte contre le changement climatique. Notre pays est en effet moteur de la mise en place et la structuration de l'interprofession européenne Sorghum ID⁵⁴, et il est l'un des principaux pays producteurs de sorgho et de semences de sorgho en Europe.

Cépages résistants

Parmi les différents leviers d'adaptation de la production viti-vinicole, le renouvellement et la diversification du matériel végétal sont une option majeure identifiée par le projet LACCAVE : en plantant des couples cépage/porte-greffe plus tardifs, résistants à la sécheresse ou à des températures plus élevées, produisant moins de sucre ou plus d'acidité.

L'amélioration des plantes permet aussi d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre

Les efforts de la sélection génétique ne peuvent être isolés des autres leviers dont disposent les agriculteurs pour faire face au changement

climatique. Nous avons choisi dans cette note de développer les techniques de santé des sols dans le chapitre consacré à l'atténuation du changement climatique, puisque la qualité et la fertilité des sols sont corrélées à leur taux de matière organique. Pour cela, la sélection génétique des plantes cultivées doit également s'orienter vers des systèmes racinaires plus développés, non seulement pour que les plantes soient mieux armées pour aller puiser l'eau en profondeur en cas d'épisode de sécheresse, mais également pour contribuer à enrichir le sol en matière organique.

• Équipements et solutions biosourcées

L'irrigation de précision et la « fertigation » sont des voies explorées par différentes entreprises : irrigation efficace, goutte à goutte, de précision, fertigation, à l'aide de capteurs et électrovannes connectés et d'application pour surveiller, programmer et optimiser les réseaux d'irrigation.

D'autres types de matériel sont également développés : **l'agrivoltaïsme** se développe sous forme d'ombrières généralement disposées au-dessus des cultures (vignes ou grandes cultures telles que céréales et oléoprotéagineux) ou des animaux (ovins, bovins) ou parfois verticalement entre les rangs de plantes cultivées. Ces équipements protègent les cultures du soleil, de trop fortes chaleurs ou, à l'inverse, du gel, de la grêle, mais leur principal atout est la production d'énergie photovoltaïque. Nous y reviendrons dans le chapitre dédié à la production d'énergies renouvelables.

Enfin, un domaine encore peu exploré mais où la R&D devra s'intensifier est celui des **bio-solutions**, par exemple des biostimulants permettant aux plantes cultivées de mieux résister à des conditions de sécheresse.

53 Serge Zaka (2 octobre 2021) Sorgho, maïs et changement climatique : que disent les données scientifiques ? Réussir <https://www.reussir.fr/la-meteo-de-serge-zaka-sorgho-mais-et-changement-climatique-que-disent-les-donnees-scientifiques>
54 <https://www.sorghum-id.com/>

Nos propositions de solutions rentables d'adaptation :

- anticiper les impasses techniques liées aux stress hydriques en construisant des **filières basées sur la sélection, la culture et la valorisation d'espèces et variétés tolérantes à la sécheresse et de races tolérantes aux fortes chaleurs** ;
- sélectionner des **variétés qui permettent d'accroître le taux de matière organique dans le sol** grâce à un développement racinaire plus profond pour contribuer à l'agriculture bas carbone ;
- développer l'offre de **variétés adaptées aux besoins des filières alimentaires** (diversification de l'offre pour répondre à la transition alimentaire) et **non alimentaires** (variétés à fort pouvoir méthanogène, adaptées à des conditions de croissance sous des panneaux photovoltaïques, ou dont les produits de transformation sont valorisables par l'industrie de la chimie verte ou des biocarburants) ;
- **proposer des équipements et biosolutions simples et faciles à mettre en œuvre permettant d'économiser l'eau** et de l'utiliser plus efficacement.

III-1-2-Actions et outils d'atténuation

• Généralités

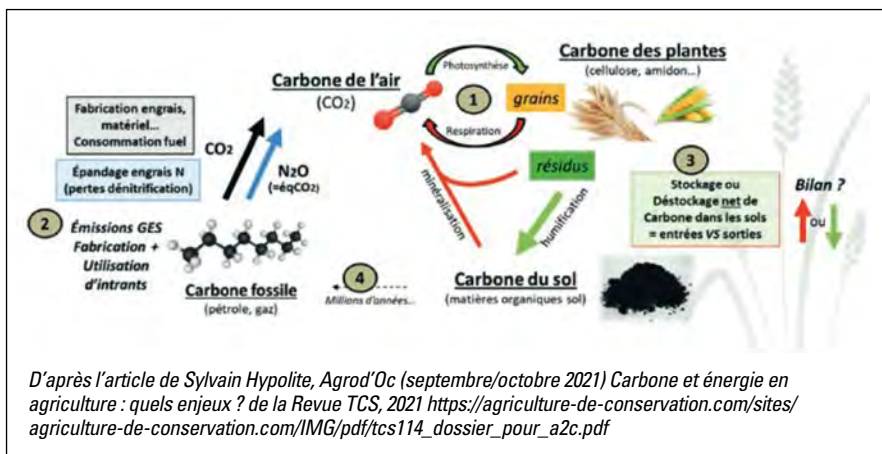
L'**atténuation du changement climatique** consiste d'une part à réduire les émissions de GES et d'autre part à capter et stocker le carbone dans les sols. En observant les flux de carbone entre l'air, les plantes, le sol et le sous-sol, on constate que la production

agricole a le pouvoir de réduire la quantité de CO₂ dans l'atmosphère :

- en augmentant l'efficacité de la photosynthèse et en réduisant la transpiration des plantes ;
- en limitant les émissions liées à la fabrication et à l'utilisation d'intrants ;
- en optimisant le bilan carbone des sols : maximiser le stockage (humification) et minimiser de déstockage.

26

72



• Stocker le carbone dans les sols

Pour « retirer » du carbone de l'atmosphère, qu'il soit sous forme de CO₂ ou de CH₄, il est possible de le stocker dans le sol. Le carbone est le constituant principal (58 %) des matières organiques du sol et la teneur en matière organique⁵⁵ (MO) des sols est proportionnelle à leurs fonctionnements et leurs propriétés. Il est donc essentiel de maximiser la teneur en MO des sols, non seulement pour lutter contre le changement climatique mais également pour améliorer leur qualité (aptitude des sols à assurer la production de biomasse et les services écosystémiques⁵⁶). Améliorer le bilan humique des sols est très technique et nécessite des formations spécifiques (*Voir Annexe XIV*).

En fait, si augmenter le stock de carbone organique dans les sols a pour premier objectif de réduire les émissions de GES, il présente d'importants **co-bénéfices** :

- adaptation au changement climatique (rétention et épuration d'eau, porosité, infiltration, portance, stabilité/résistance mécanique, aération, réserve de nutriments);
- biodiversité, fertilité physique (transferts d'eau et d'échanges gazeux, réservoir d'oxygène, habitat, permet la colonisation racinaire).

Concernant les **leviers efficaces de stockage de carbone dans les sols**, l'étude⁵⁷ de l'INRAE parue en juillet 2019 fait référence. Sa principale

conclusion est que le potentiel de stockage additionnel de carbone dans les sols en France se trouve majoritairement dans les systèmes de grandes cultures : ils représentent 86 % du potentiel total. Les pratiques stockantes avec les plus forts potentiels en grandes cultures sont l'extension des cultures intermédiaires (35 % du potentiel total), l'agroforesterie intraparcellaire (19%), l'insertion et l'allongement du temps de présence de prairies temporaires. Suivent la plantation de haies et l'enherbement des interrangs en vignobles. L'INRAE évalue dans cette étude le maximum de stockage de carbone additionnel dans l'ensemble des sols agricoles et forestiers en France à 1,9 pour 1 000 et 5,2 pour 1 000 pour les sols des grandes cultures).

L'agriculture de conservation des sols (ACS) place le sol au cœur des systèmes de production et est fondée sur trois principes⁵⁸ défendus par l'Association pour la Promotion d'une Agriculture Durable (APAD) qui réunit des agriculteurs pratiquant l'ACS partout en France :

1. couverture permanente du sol : maintien de résidus de culture en surface et implantation de couverts végétaux pendant l'interculture. Le couvert végétal agit sur la structuration du sol grâce au réseau racinaire, le recyclage des éléments minéraux et le développement de la biodiversité aérienne et souterraine en fournissant le gîte et l'alimentation des espèces présentes ;

55 Les matières organiques du sol comprennent trois catégories :

- les organismes vivants (vers de terre, champignons, bactéries, graines...);
- les litières (biomasse fraîchement restituée au sol) : résidus, rhizodépôts, déjections qui contiennent le carbone labile, dans des molécules facilement disponibles ;
- l'humus = matière organique du sol issue de la décomposition des tissus d'animaux et de végétaux + exsudats racinaires et microbiens. Le processus de formation est lent (de quelques mois à quelques milliers d'années). Les molécules sont très complexes (de biodisponibles à réfractaire) et constituent le stock de carbone stable. Il faut considérer le rapport entre la teneur en matière organique et la teneur en argile pour évaluer la qualité structurale d'un sol.

56 Pascal Boivin (2021) Le rôle du carbone en agriculture, Formation Pour agriculture du vivant - Vidéo https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Le_r%C3%B4le_du_carbone_en_agriculture_par_Pascal_Boivin

57 INRAE (juillet 2019) Stocker du carbone dans les sols français : quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/etude-4-pour-1000-resume-en-francais-pdf-1_0.pdf

58 <https://www.apad.asso.fr/agriculture-de-conservation-3/principes-de-lac>

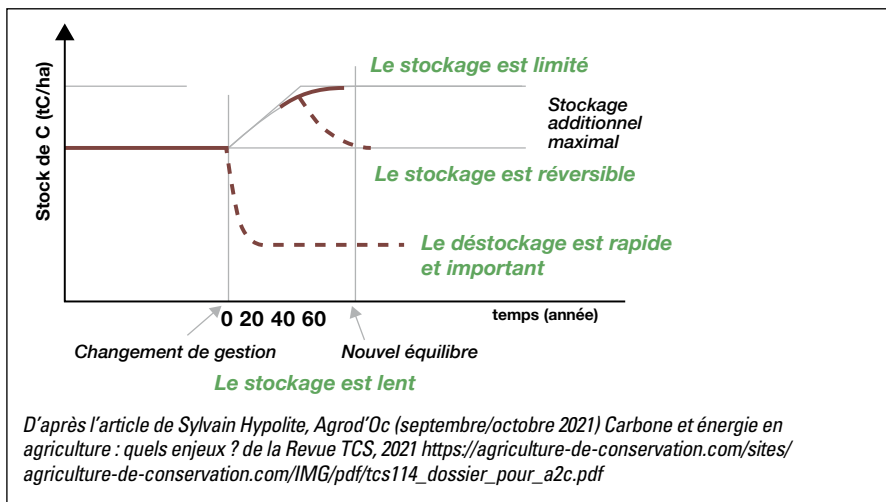
2. semis sans travail du sol (semi-direct, sans labour), pour limiter la perturbation de l'activité biologique lors du dépôt de la semence dans le sol, favoriser la porosité verticale naturelle du sol et augmenter le taux de matière organique ;
3. diversité et rotation des cultures selon une réflexion agronomique pour réduire les maladies grâce à la complémentarité des espèces et l'intégration d'une légumineuse dans la rotation pour limiter les besoins en fertilisation azotée.

L'efficacité du semis direct est en débat entre spécialistes quant à son impact sur le stockage de carbone dans les sols. L'étude de l'INRAE précitée conclut en effet que le stockage du carbone qui résulte de cette pratique ne serait concentré qu'en surface des sols. En fait, le non-travail du sol présente d'autres co-bénéfices sur l'érosion, l'activité biologique, la portance et la battance des sols en particulier. Selon la revue

TCS⁵⁹, « le levier le plus impactant semble être la couverture des sols par du vivant en fréquence et en intensité. C'est donc la quantité de biomasse produite et restituée (cultures, couverts, amendements) qui est le facteur primordial du bilan humique des sols. Souvent, le non-travail du sol et le semis direct permettent de l'optimiser ».

Enfin, la sélection de variétés de plantes pour leur développement racinaire abondant est une voie encore peu explorée mais qui est prometteuse pour stocker le carbone organique dans les sols.

Un point de vigilance significatif sur ce volet de **stockage de carbone organique dans les sols** est qu'il est lent et limité dans le temps, atteignant un plateau au bout de plusieurs années de pratiques stockantes. Par ailleurs, il est réversible et le déstockage peut être très rapide (retournement de prairie par exemple).



Au final, ce sont les résultats qui comptent, pas les « écoles » ou les promotions publicitaires (agriculture conventionnelle, bio, ACS, agriculture régénératrice), d'où l'importance de mesurer, parfois parcelle par parcelle, les résultats concrets des pratiques et des techniques mises en œuvre (Voir plus loin le chapitre « carbon farming »).

Pour mesurer la qualité des sols, certains acteurs ont construit des indices. Par exemple, le mouvement Pour une Agriculture du Vivant (PADV) a mis au point un **indice de régénération des sols** comme outil d'évaluation du niveau agroécologique des fermes pour le suivi de la transition. La note sur 100 tient compte de la couverture du sol, du cycle du carbone, de la

59 Sylvain Hypolite (Septembre/Octobre 2021) Carbone et énergie en agriculture : quels enjeux ? Revue TCS https://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/tcs114_dossier_pour_a2c.pdf

fertilisation azotée, de la gestion des produits phytosanitaires, de la biodiversité de l'agroforesterie et de la formation des agriculteurs. Certaines sociétés proposent des scores de notation de la qualité des sols.

Biostimulants

Pour améliorer le bilan humique des sols, sont commercialisés des biostimulants qui permettent de revitaliser les sols avec des solutions qui stimulent l'humification. C'est une voie encore peu explorée aujourd'hui mais qui mérite d'être encouragée, avec l'amélioration des connaissances de la vie du sol, et de ses microorganismes en particulier.

Capter du carbone en plantant des arbres

Aujourd'hui, l'**agroforesterie**⁶⁰ est peu développée en France. La concurrence entre les plantes cultivées et les arbres pour les mêmes ressources (eau, éléments nutritifs, lumière) entraîne des chutes de rendements estimées souvent trop importantes pour être supportables par les agriculteurs. C'est du côté de l'élevage que la plantation de **haies** (bocage) et d'arbres dans les prairies permanentes est le plus porteur de sens à la fois pour abriter les animaux, capter du carbone et pour améliorer la biodiversité. Pour éclairer les agriculteurs qui se lanceraient dans l'agroforesterie, il est nécessaire de disposer de davantage de références, qui seront générées par les nombreux travaux de recherche en cours⁶¹. Les conditions de réussite écologique et économique de ces pratiques doivent être décrites et mesurées afin qu'elles tiennent leurs promesses de réduction de l'érosion, d'amélioration de la vie des sols et de leur structure, permettant une meilleure disponibilité en eau et en nutriments,

la fourniture d'habitats pour différentes espèces, et la diversification des productions et donc des revenus pour les chefs d'entreprise agricole (bois-énergie, arbres fruitiers...)

• Réduire les émissions de N₂O

Les deux principales sources d'émissions de N₂O de l'agriculture sont la **fertilisation azotée** et les **effluents d'élevage**.

De nombreux travaux étaient déjà conduits pour **optimiser la fertilisation azotée** afin de se conformer à la réglementation visant à limiter les pollutions azotées des eaux et des sols, avant que l'enjeu climatique ne devienne préoccupant. Jusqu'à présent, les objectifs étaient d'ajuster le plus finement possible les apports aux besoins des plantes cultivées tout au long du calendrier cultural et de limiter les excès, et donc la pollution des eaux et des sols. Comme le souligne CITEPA⁶², les solutions techniques étaient jusqu'à aujourd'hui limitées pour réduire les émissions de N₂O des sols, très dépendantes des conditions pédoclimatiques (les plus fortes émissions ayant lieu après les épandages d'azote et après des épisodes pluvieux). Les solutions classiques comprennent l'apport d'amendements organiques en couplant les productions de polyculture élevage, l'allongement des rotations en introduisant des légumineuses, l'utilisation d'engrais verts, de Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates (CIPAN)⁶³.

L'incorporation de **légumineuses** (pois, lentille, soja, féverole, lupin, trèfle, luzerne) dans les rotations est un levier bien connu pour enrichir les sols en azote. Ces plantes fixant l'azote de l'air grâce à leur association symbiotique avec

60 Selon le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation « l'agroforesterie est un système dynamique de gestion des ressources naturelles reposant sur des fondements écologiques qui intègrent des arbres dans les exploitations agricoles et le paysage rural et permet ainsi de diversifier et de maintenir la production afin d'améliorer les conditions sociales, économiques et environnementales de l'ensemble des utilisateurs de la terre » https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/151215-ae-agroforesterie-v2_plan.pdf

61 INRAE (6 janvier 2022) Agroforesterie : des arbres pour une agriculture durable <https://www.inrae.fr/actualites/agroforesterie-arbres-agriculture-durable>

62 CITEPA (2021) Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques – bilan des émissions en France de 1990 à 2020 https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/Citepa_Rapport-Secten_ed2021_v1_30072021.pdf

63 Voir la Journée CASDAR du 27 janvier 2021 : contribution de l'agriculture à l'atténuation du changement climatique <https://www.gis-relance-agronomique.fr/Journees-CASDAR/Journee-Casdard-2021>

des bactéries. Cet azote est ensuite restitué à la culture suivante via la décomposition des résidus de culture. Jusqu'à présent ces productions se sont peu développées mais l'émergence de nouvelles filières de valorisation en alimentation humaine au profit de la végétalisation de l'assiette devrait stimuler ces productions. Leurs atouts agronomiques et nutritionnels sont en effet des atouts qui apportent des réponses aux enjeux climatiques.

Avec la préoccupation climatique et la forte augmentation des prix des engrais (due au sursaut des cours du gaz naturel, qui représente 80 % des coûts de production des engrais azotés) et les risques portant sur l'accès au gaz naturel, **l'optimisation de la fertilisation azotée devient incontournable** pour les agriculteurs. De plus, la loi Climat et résilience d'août 2021 prévoit de taxer les engrais azotés en cas de non-respect des trajectoires de réduction prévues par la SNBC. Elle rend donc ces trajectoires contraignantes, afin de limiter les excès d'apport d'azote et de maximiser l'efficacité d'utilisation de l'azote par les plantes.

Il existe également des solutions plus innovantes et technologiques : la **modulation intraparcellaire** et la **forme d'azote** apportée.

La **modulation intraparcellaire** est un des axes de l'agriculture de précision⁶⁴. La modulation de fertilisation azotée, de fumure de fond ou de densité de semis, essentiellement en grandes cultures (céréales à paille, maïs et colza) est réalisée en fonction d'une carte de préconisation, transmise à la machine agricole et appliquée au champ. Moins de 10 % des agriculteurs la pratiquaient en 2018 mais certaines sociétés proposent des outils dédiés à partir de diagnostics d'hétérogénéité de fertilité et de productivité des sols.

L'utilisation d'**engrais dits « décarbonés »** est proposée par le groupe norvégien Yara, qui a amélioré l'efficacité énergétique et l'empreinte carbone de ses usines de production d'engrais azotés, avec la mise en place de techniques de production réduisant les émissions de N₂O et en mobilisant des énergies renouvelables au lieu d'énergies fossiles^{65,66} (utilisation de l'hydrogène de l'eau et production à zéro émissions). De plus, après épandage, les émissions de N₂O au champ sont moins importantes pour l'ammonitrate que pour l'urée. Au final, Yara estime le potentiel de réduction des émissions de GES à plus de 80 %. La commercialisation de ces engrais « décarbonés » va démarrer en 2023 dans le nord de l'Europe et l'objectif est de produire 30 % des engrais décarbonés d'ici 2030.

À ce jour les **solutions biosourcées** (bio-stimulants ou biofertilisants) en sont encore au stade embryonnaire. De plus la recherche variétale sur le caractère d'efficacité d'utilisation de l'azote demeure un « Graal » que les sélectionneurs ne sont pas encore parvenus à trouver. La recherche, le développement et l'innovation doivent être renforcés pour que ces solutions sortent du stade des promesses.

C'est l'association de toutes ces solutions agronomiques et technologiques qui permettra aux agriculteurs de répondre au plus juste aux besoins des cultures, selon leur stade de développement, l'état des sols et la météorologie, tout en réduisant les émissions de N₂O.

Pour réduire les émissions de N₂O de l'élevage, les principaux leviers sont la gestion des effluents d'élevage, en particulier en les valorisant grâce à la **méthanisation** : en épandage, le digestat qui en est issu permet de fertiliser les sols tout en émettant moins de N₂O que les effluents bruts. C'est un exemple de complémentarité efficace

64 Chaire AgroTIC, #DigitAg (décembre 2018) Usages de la modulation intraparcellaire http://agrotic.org/observatoire/wp-content/uploads/2018/12/Infogra_Modulation2018.pdf : la modulation intraparcellaire est définie comme l'application au champ de conseils basés sur des cartes d'hétérogénéités de la parcelle pour adapter les opérations culturales

65 Marie-Cécile Damave (28 janvier 2022) Les engrais décarbonés au service de l'agriculture bas carbone <https://www.agricidees.com/articles/les-engrais-decarbones-au-service-de-lagriculture-bas-carbone/>

66 Yara (janvier 2022) Pour une agriculture pérenne et décarbonée – La contribution de Yara en France et en Europe

et rentable entre productions animales et végétales, et qui permet de réduire l'empreinte carbone de l'agriculture.

• Réduire les émissions de CO₂ des agroéquipements

Les pratiques de **semis direct**, de **travail du sol simplifié**, et l'utilisation de **robots électriques** de désherbage sont prometteuses pour réduire les émissions de CO₂ des agroéquipements classiques, car moins gourmands en carburants d'origine fossile. Le travail du sol profond nécessite en effet beaucoup d'énergie. La viticulture est un domaine qui teste différents robots aujourd'hui, véritable laboratoire d'expérimentation pour les autres productions végétales.

La réduction du poids des équipements et une meilleure adaptation de la pression des pneus au terrain permettent aussi de réduire la consommation de carburants et donc les émissions de CO₂.

• Réduire des émissions de méthane par les ruminants

Différents leviers existent pour réduire les émissions de méthane entérique⁶⁷ :

- **conduite du troupeau** : amélioration de la productivité pour réduire la quantité de CH₄ par kg de lait produit, par exemple en réduisant les périodes improductives (baisser le taux de réforme et de renouvellement, améliorer la santé et la reproduction) ;
- **génétique** (sélection des animaux faiblement émetteurs. Le projet METHAFOR a pour objectif d'identifier les bases génétiques des émissions de méthane chez les vaches laitières avant d'étudier l'efficacité et les conséquences d'une contre-sélection) ;
- **ration** (l'amidon doit représenter 25 % de matière sèche maximum, introduction de lin pour réduire la production d'hydrogène) et additifs (projet de recherche sur certaines algues marines METH'ALGUES⁶⁸).

Nos propositions de solutions rentables en matière d'atténuation :

- **accompagner les agriculteurs dans la transition vers une agriculture bas carbone** (forme et doses d'engrais décarbonés, modulation intraparcellaire, incorporation de légumineuses dans les rotations, complémentarité animal végétal) pour **améliorer leur bilan carbone** (stockage de carbone organique dans les sols et réduction des émissions de GES) ;
- **accélérer la sélection génétique des ruminants** pour réduire leurs émissions de CH₄ et **des plantes cultivées** pour une utilisation plus efficace de l'azote et réduire les émissions de N₂O ;
- **accélérer la Recherche, le développement et l'innovation (R&D&I) en matière de solutions biosourcées (biofertilisants et biostimulants** pour enrichir les sols en carbone organique, **additifs alimentaires** en nutrition animale pour réduire les émissions de méthane des ruminants) **et de robots agricoles électriques.**

67 IDELE (21/04/2020) À propos des émissions de méthane entérique des vaches laitières : les mesurer, les prédire, les réduire <https://idele.fr/detail-article/a-propos-des-emissions-de-methane-enterique-des-vaches-laitieres-les-mesurer-les-predire-les-reduire-1>

68 IDELE (23/09/2021) METH'ALGUES – Des algues pour réduire les émissions de méthane entérique chez la vache laitière <https://idele.fr/detail-article/methalgues-des-algues-pour-reduire-les-emissions-de-methane-gaigoenterique-chez-la-vache-laitiere>

Exemples d'outils technologiques innovants dans les leviers d'adaptation et d'atténuation :

Familles d'outils	Exemples d'entreprises innovantes	Actions d'adaptation et d'atténuation
Amélioration génétique	Sélectionneurs dans le monde végétal et de la génétique animale	Adaptation aux stress hydrique et thermique Atténuation : - N ₂ O : meilleure efficacité d'utilisation de l'azote (plantes) - CO ₂ : stockage de carbone organique dans les sols grâce au développement racinaire (plantes) - CH ₄ : réduction des émissions (ruminants)
Irrigation	Nombreux acteurs	Adaptation : meilleure gestion de la ressource en eau
Ombrières photovoltaïques	Sun'Agri TSE TotalEnergie Ombrea	Adaptation : protection des cultures et des animaux contre le gel, la grêle, les fortes chaleurs, un ensoleillement extrême Atténuation : production d'énergie renouvelable évitant l'utilisation d'énergies fossiles
Nutrition et biosolutions	Yara : engrais décarbonés Gaïago, Elicit Plant : biostimulants, biofertilisants (plantes) DSM : additif alimentaire Bovaer (animaux) Outils de modulation intraparcellaire	Atténuation : réduction des émissions de N ₂ O Atténuation et adaptation : revitalisation des sols, humification, tolérance à la sécheresse Atténuation : réduction des émissions de CH ₄ Atténuation : réduction des émissions de N ₂ O
Robots électriques de désherbage et de tonte	Vitrover Odd Bot Ecorobotix Naïo Vitibot Trekto (SITIA)	Atténuation : réduction des émissions de CO ₂ et adaptation en évitant de tasser les sols

- **III-2-Observer, mesurer, modéliser, décider**

- **Outils d'observation de la météo**

L'outil **ORACLE** (Observatoire régional sur l'agriculture et le changement climatique) est porté par les Chambres d'agriculture et mis en place dans plusieurs régions françaises, dont l'Occitanie. Sur la base d'indicateurs climatiques, agro-climatiques, d'impacts, d'adaptation et d'atténuation, l'observatoire permet d'établir

un constat objectif, avec des données fiables, du changement climatique observé par Météo France depuis 60 ans, de ses impacts avérés sur l'activité agricole, ainsi que des actions d'adaptations et d'atténuation qui se mettent en place en conséquence.

Différentes **stations météo connectées** sont disponibles pour les agriculteurs depuis plusieurs années : Sencrop, Weenat, Isagri (station météo Meteus). De son côté, Weather

Mesures utilise des radars à haute résolution.

La société Farm21⁶⁹ propose des OAD en fonction d'un réseau de capteurs et d'une plateforme intelligente selon des données d'humidité et de température de l'air et du sol à différentes profondeurs.

Les sites www.meteociel.com (prévisions multimodèles) et www.infoclimat.fr (observations de près de 1 000 stations en direct) sont également des outils d'observation très utiles aux agriculteurs.

• Outils numériques et mathématiques

Pour gérer la ressource en eau, la fertilisation ainsi que la biomasse, calculer un bilan carbone, ou encore prévoir les impacts de la météorologie sur la croissance des plantes, il existe de nombreux **outils d'aide à la décision** (OAD). Le tableau ci-dessous n'est pas exhaustif⁷⁰ mais donne un aperçu des outils disponibles, jusqu'aux modèles prédictifs, basés sur des algorithmes qui valorisent les données agrométéorologiques en recommandations, telles un « GPS » pour les guider et sécuriser la conduite de leurs cultures⁷¹.

Familles d'outils numériques	Exemples d'entreprises et d'outils numériques
Gestion de l'eau : suivi du stress hydrique et irrigation de précision	Irré-lis (Arvalis) Cropwin (ITK) : suivi du stress hydrique des sols et des plantes Vintel (ITK) : suivi du stress hydrique sur vigne Maïseo (Ovalie) Weenat irrigation et Weedriq (Weenat) Net-irrig (Chambre d'agriculture du Val de Loire) Telaqua : irrigation de précision Orange/Synox : objets connectés d'irrigation intelligente
Gestion de la fertilisation azotée et/ou biomasse	ATfarm (Yara) N-Sensor (Yara) Réglette Azote colza (Terres Inovia) Farmstar (Airbus/Arvalis) Cerealia Be Api : modulation intraparcellaire Xarvio (BASF) Fieldview (Bayer/Climate) Spotifarm (Isagri) Precifield MyEasyFarm Farmsat Modules de plan de fumure intégrés aux 4 outils de gestion parcellaires : Geofolia (Isagri), Mesparcelles (Chambres d'agriculture), Smag-Farmer, Wiuz (Axéreal, Terrena, Airbus, Hi-Phen)...

⁶⁹ <https://fr.farm21.com/>

⁷⁰ Voir l'annuaire des outils numériques en agriculture proposé par Aspexit : <https://www.lesoutilsnumeriquesdesagriculteurs.com/>

⁷¹ Serge Zaka (5 décembre 2021) Modélisation agrométéorologique : nouveau « GPS » des agriculteurs pour sécuriser la conduite des cultures, Réussir <https://www.reussir.fr/prevision-meteo-du-gps-la-modelisation-agrometeorologique>

Familles d'outils numériques	Exemples d'entreprises et d'outils numériques	
<p>Carbone</p>	<p>Modélisation de la teneur en carbone dans les sols : Modèle AMG : bilan humique, estimation du stock de carbone dans les sols selon les pratiques culturales et le contexte pédoclimatique – Label Bas Carbone (France) Modèle Roth C : modèle de renouvellement du carbone organique dans la terre qui tient compte du type de sols, de la température, de l'humidité et de la couverture végétale) – Cool Farm Tool (international, Rothamsted) Modèle Century : modèle du cycle des nutriments entre les plantes et le sol – Verra, Gold Standard (international)</p> <p>Indicateurs : Indicateur de teneur en carbone des sols selon les couverts : Projet INRAE-Planète A SOCCROP : évolution du stock de carbone dans les sols agricoles Indice de régénération des sols établi par PADV Genesis : « agence de notation des sols » propose différents scores (biodiversité, carbone et pollution) comme OAD pour produire des crédits carbone et autres Paiements pour services environnementaux (PSE). Terra Terre : plateforme de suivi des projets et contributions bas carbone pour valoriser les actions des agriculteurs en matière d'agriculture bas carbone et régénérative. EarthWorm : fondation internationale qui a initié le programme « Sols Vivants » qui vise à accélérer la régénération des sols et a créé un indicateur de la santé des sols agricoles.</p>	<p>Bilan carbone : diagnostic et scénarios de progrès (crédits carbone) : Grandes cultures : MyEasyCarbon (MyEasyFarm) Carbon Extract (Agrosolutions) Rize Sysfarm Soil Capital Bovins lait : CAP'2ER : outil de diagnostic environnemental (CNIEL) pour développer la démarche « Ferme laitière bas carbone » SelfCO2 (IDELE) : évaluation de l'empreinte carbone du lait + contribution à la biodiversité + performance nourricière</p>
<p>Modèles prédictifs des risques météorologiques</p>	<p>Prevent : anticiper les risques de gel, vagues de chaleur et sécheresse (ITK) AXA Climate : assurance climatique sur la base d'indicateurs de vulnérabilité pour sécuriser la transition vers de nouvelles pratiques d'adaptation ClimA-XXI (Chambres d'agriculture) : donne les probabilités qu'un événement climatique se produise à l'échelle d'une commune et détermine la faisabilité d'une production donnée.</p>	

Modèles prédictifs : plusieurs applications

Les modèles prédictifs peuvent aller jusqu'à construire des outils assurantiels sophistiqués tels que ceux travaillés par AXA Climate. Partant du principe que seuls les agriculteurs engagés dans une transformation durable seront assurables, cette société est en train de

« réinventer l'assurance » sur la base d'indicateurs de vulnérabilité selon les filières (viticulture, grandes cultures, bétail), sur la base de modélisation climatique. Ce type d'assurance « sur mesure » est construit pour sécuriser la transition vers de nouvelles pratiques d'adaptation pour limiter les risques liés au changement climatique identifiés.

Les modèles prédictifs peuvent également être utilisés pour aider les investisseurs dans leurs choix de résilience climatique. C'est ce que réalise à l'international la société **Finres**⁷².

• III-3-Monétiser, valoriser les actions

La lutte contre le changement climatique peut-elle devenir rentable ? Pour la FNSEA⁷³, « les externalités positives d'une production agricole durable doivent permettre de créer de la valeur ajoutée et d'améliorer la situation économique des agriculteurs ». Pas si simple, car, si l'on en croit les conclusions d'une récente analyse du ministère de l'Agriculture⁷⁴, adopter des pratiques agroécologiques en production de grandes cultures est coûteux parce que cela réduit les performances économiques des exploitations. Cela n'est guère incitatif pour les agriculteurs. **La transition vers les pratiques et des techniques agricoles que nous avons passées en revue doivent donc être financées pour en absorber les coûts.**

• Marché volontaire du carbone : un état des lieux au niveau mondial

Au niveau mondial, il existe des **marchés réglementés** et des **marchés volontaires** du carbone. Les marchés réglementés ne concernent que les secteurs les plus polluants, dont l'agriculture ne fait pas partie. En Europe, les secteurs concernés sont ceux de l'électricité, des raffineries, de l'acier, du ciment, du verre, de la pâte à papier, de l'aviation...

Parallèlement, le marché volontaire du carbone prend de l'ampleur. Il a atteint la valeur record de 1 milliard de dollars fin 2021, soit un triplement en

trois ans. Cela représente près de 300 millions de tonnes éq CO₂ séquestrées ou éliminées. Selon certains experts, ce marché pourrait progresser jusqu'à atteindre 1,7 milliard de dollars en 2022 : davantage d'entreprises devraient acheter des crédits pour revendiquer leur neutralité carbone et les prix des crédits carbone devraient augmenter. La plus grande partie de ces crédits carbone provient de projets de lutte contre la déforestation et d'énergies renouvelables, tandis que les projets agricoles et forestiers devraient rester minoritaires, bien qu'en augmentation. Le marché volontaire du carbone devrait prendre de l'ampleur à l'avenir étant donné l'augmentation du nombre de projets et avec l'augmentation de la valeur tutélaire du carbone⁷⁵.

Selon le cabinet McKinsey, la valeur du marché volontaire du carbone au niveau mondial pourrait progresser d'un facteur 15 d'ici 2030 et d'un facteur 100 d'ici 2050⁷⁶. Une vingtaine de standards existent dans le monde pour les crédits carbone agricoles (*Voir Annexe XV*).

Pour être certifié et commercialisable, un projet agricole de compensation doit remplir plusieurs critères de qualité :

- **additionnalité** : la quantité de CO₂ séquestrée doit être supérieure à celle obtenue sans la mise en place du projet ;
- **traçabilité** et transparence : vérification de la séquestration de carbone par un auditeur indépendant et accrédité ;
- **suivi et permanence du stockage de carbone** : mesure et vérification de la quantité de CO₂ évitée, plan de suivi quantitatif pendant la période de comptabilisation ;
- pas de double comptage.

72 <https://www.finres.org/>

73 Henri Biès-Péré, Hervé Lapie, Joël Limouzin, Olivier Dager (2020) Rapport d'orientation FNSEA : Faire du défi climatique une opportunité pour l'agriculture

74 Centre d'études et de prospective, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (novembre 2021) Performance économique et environnementale des exploitations de grandes cultures <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Ana170/detail/>

75 Trove Research (February 2022) Voluntary Carbon Market: 2021 and 2022 Outlook <https://trove-research.com/research-and-insight/voluntary-carbon-market-2021-year-in-review-and-2022-outlook/> et Pierre-Louis Guillo (1^{er} février 2022) Tour d'horizon des dynamiques de marché du crédit carbone – acteurs et cadre actuel – E-Tech day Carbone des sols, Bioeconomy for Change

76 <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/a-blueprint-for-scaling-voluntary-carbon-markets-to-meet-the-climate-challenge>

• Financement carbone en France : nécessaire mais insuffisant

En France, le Label Bas Carbone⁷⁷ (LBC) est porté par le ministère de la Transition écologique (MTE), qui labellise les méthodes cohérentes avec ce label⁷⁸. La plupart des projets labellisés sont forestiers, et quelques projets sont agricoles (méthodes Carbon Agri, plantation de vergers, grandes cultures). Pour qu'un projet soit labellisé par le MTE, il doit utiliser une méthode approuvée par ce ministère. La méthode Grandes Cultures a été approuvée en août 2021. Elle calcule des crédits carbone comme la différence entre l'empreinte carbone de référence et l'empreinte ciblée, à l'aide de ces leviers : d'une part, réduction des émissions de GES associées aux combustibles fossiles ainsi qu'à la fertilisation, et d'autre part, réduction des émissions par stockage du carbone dans le sol (*Voir Annexe XVI*).

Quatre outils de MRV (Monitoring, Reporting and Verification) ont été développés en France pour faire ces calculs complexes sur la base de mesure et de modélisation : **MyEasyCarbon** (développé par la startup MyEasyFarm), l'outil de la startup **Rize, CarbonExtract** (développé par AgroSolutions) et Sysfarm. Ils doivent être labellisés⁷⁹ par le MTE pour être utilisés dans le cadre du LBC. Les outils **Sysfarm** et MyEasyCarbon ont été certifiés conformes au premier trimestre 2022.

Aujourd'hui **stocker du carbone dans les sols coûte plus cher que cela ne rapporte**. Agrosolutions estime qu'actuellement les coûts de revient (65 €/t C) sont supérieurs à la valeur des crédits carbone générés par les agriculteurs (inférieurs à 50 €, souvent 20-30 €/t C stocké)⁸⁰. Il est urgent que la situation s'inverse.

Crédits carbone, primes filières et aides PAC doivent donc être agrégées : cela passe aussi par des outils digitaux pour réduire le prix de suivi administratif de suivi.

La rémunération des pratiques agricoles permettant de stocker du carbone dans les sols se fait de trois manières : les **aides PAC**, les **crédits carbone** et les **primes filières** (actuellement très rares à part la société de popcorn Natais, la filière colza Oléoze⁸¹ ou encore la bière Heineken produite à l'aide d'orges bas carbone par l'intermédiaire de Malteurop). Aujourd'hui les trois doivent être additionnées pour que la démarche soit rentable.

La définition, la méthodologie, les bases de données, le périmètre de mise en œuvre de l'agriculture bas carbone doivent être clarifiés au niveau européen. Avec le Label Bas Carbone, la France a fait le choix de comptabiliser un bilan carbone global en intégrant à la fois les réductions d'émissions de GES et le stockage de carbone dans les sols. Il est nécessaire que les instances européennes prennent également compte de ce bilan global dans la définition du carbon farming (agriculture bas carbone). À ce stade, la question n'est pas tranchée⁸².

Les prix des crédits carbone sur le marché volontaire sont beaucoup plus élevés en Europe que dans le reste du monde : 30 à 70 €/t_{éq} CO₂ en France contre 13 €/t_{éq} CO₂ en Europe et 6 €/t_{éq} CO₂ à l'international environ.

Fondée sur une confrontation de l'offre et de la demande, la **valeur du foncier agricole est aujourd'hui basée sur l'existence ou non d'une pression foncière et sur ses qualités agronomiques**.

77 Site du MTE dédié au LBC : <https://www.ecologie.gouv.fr/label-bas-carbone>

78 Hubert Bosse-Platière, Jean-Baptiste Millard (2022) Le CO₂ vert capturé par le droit – Le label « Bas Carbone » en agriculture et en sylviculture, in Le CO₂ vert capturé par le droit – Le carbone en agriculture et en sylviculture, Dir. Jean-Baptiste Millard et Hubert Bosse-Platière, LexisNexis.

79 Marie-Cécile Damave (9 décembre 2021) L'agriculture du carbone se construit <https://www.agrideas.com/analyses/lagriculture-du-carbone-se-construit/>

80 Colloque de l'Académie d'Agriculture de France du 9 février 2022 : État de l'agriculture et gaz à effet de serre – Témoignages <https://www.youtube.com/watch?v=kRQnxhd7o8M>

81 <https://www.oleomarket.fr/oleoze>

82 Conference on Sustainable Carbon Cycles, European Commission, January 31, 2022 <https://sustainable-carbon-cycles-conference.b2match.io/>

Les deux dimensions sont souvent liées mais ne le sont pas nécessairement. La qualité des sols de la parcelle vendue ou louée, en particulier son taux de matière organique, apparaît encore insuffisamment prise en compte dans la fixation de son prix de vente ou, en cas de location, de son fermage. Ainsi, intégrer dans les fourchettes de l'arrêté départemental fixant les minima et maxima des loyers une référence à la qualité des sols pour permettre d'augmenter ou de diminuer

ces loyers assurerait une meilleure reconnaissance des pratiques de stockage de CO₂ dans le sol. La **qualité des sols** pourrait résulter d'un **indice de durabilité** intégrant une pondération des facteurs les plus déterminants en la matière (humus, matière organique, pH, structure). Ce même indice pourrait également servir en fin de bail pour apprécier les éventuelles indemnités dues au preneur en cas d'amélioration ou dues au bailleur en cas de dégradation.

Nos propositions pour une agriculture bas carbone rentable et durable :

- **définir** l'agriculture bas carbone selon une trajectoire de **progrès du bilan carbone global** en tenant compte à la fois de la réduction des émissions de GES et du stockage du carbone dans les sols ;
- valoriser non seulement les progrès réalisés en matière de réduction des émissions et augmentation du stockage, mais également le **maintien du stock élevé de carbone organique dans les sols**, en particulier (pratiques d'ACS et prairies permanentes qui ont déjà permis d'atteindre des teneurs en carbone organique plus élevées que la moyenne territoriale) ;
- **une aide publique est nécessaire au démarrage des pratiques bas carbone** : financement du diagnostic initial, mise en place de scénarios de réduction des émissions par modélisation et analyses de sols pendant les 5 premières années (comparable à l'aide à la conversion en agriculture biologique) ;
- la **certification carbone doit reposer sur une obligation de résultat** obtenu à partir de 5 ans de pratiques et techniques permettant d'améliorer le bilan carbone de l'exploitation agricole, suivis de mesure de bilans carbone annuels permettant de s'assurer de la permanence du stockage ;
- les méthodes de mesure certifiées doivent être reconnues comme équivalentes selon des **standards internationaux** (ISO...) pour être opérationnelles dans tous les pays, permettant de stimuler la demande des financeurs et donc les prix de la tonne eq CO₂ ;
- les **financeurs (grands groupes) doivent être incités à acheter des crédits carbone agricoles générés en France et dans l'Union européenne** pour compenser leurs émissions dans le cadre de leurs démarches RSE : une part minimale de crédits carbone européens doit être obligatoire ;
- mieux prendre en compte la **fertilité des sols**, en se référant à un indice de durabilité, pour fixer le **prix de la terre** en cas de vente ou le fermage en cas de location.

37

72

IV – LES LEVIERS DE LA DEMANDE

Les différentes actions d'adaptation et d'atténuation mises en place au niveau de la production agricole ne pourront être valorisées que si les filières s'engagent dans cette voie et transmettent la valeur de ces actions jusqu'aux citoyens-consommateurs.

En novembre 2021, l'ADEME a publié quatre scénarios prospectifs⁸³ pour atteindre la

neutralité carbone en 2050. Notons que la **réduction de la consommation de viande** est un des leviers communs aux quatre scénarios. La baisse envisagée passe de -10 % à une division par 3, selon les scénarios. Un second levier commun à tous les scénarios de l'ADEME est la **mobilisation des puits de carbone biologiques** : plus ou moins intense selon les scénarios, la forêt et les sols agricoles avec changement de pratiques sont les principaux

83 ADEME (novembre 2021) Transitions 2050 – Choisir maintenant – Agir pour le climat <https://www.ademe.fr/lademe/priorites-strategiques-missions-lademe/transitions-2050-choisir-maintenant-agir-climat>

leviers envisagés pour **séquestrer le carbone organique**. Enfin, la **mobilisation de la biomasse pour des usages non alimentaires** devrait, selon ces scénarios, être au moins doublée pour atteindre la neutralité carbone en 2050, dans les quatre scénarios de l'ADEME. Les principaux usages non alimentaires de la biomasse seraient la méthanisation, la production de biocarburants et la combustion, suivis de la fabrication de produits biosourcés. Tous les scénarios sont plus sobres que la situation actuelle et incluent plus de 70 % d'énergies renouvelables (*Voir Annexe XVII*).

Selon une étude de l'IDDRI⁸⁴ publiée début 2021, le **rééquilibrage animal/végétal dans l'assiette**, la **reconnexion entre productions animales et végétales** et la **re-diversification des territoires** seraient le scénario le plus favorable aux acteurs de la production agricole et de la transformation agroalimentaire pour répondre aux dérèglements climatiques dans les filières lait et grandes cultures.

• IV-1- Une alimentation durable qui intègre la dimension « climat »

L'évolution de la demande alimentaire est un levier de transition important pour stimuler la transition vers des modèles agricoles et alimentaires plus durables, en particulier des systèmes plus résilients face aux changements climatiques. Notons que pour la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB), « il est temps de changer le récit pour permettre aux

gens de comprendre et d'investir dans leur nutrition pour une vie saine, en consommant des aliments produits par un système alimentaire durable⁸⁵ ».

• Les systèmes alimentaires durables sont-ils nécessairement locaux ?

Cependant, le local n'est pas forcément durable : encourager la consommation alimentaire de produits locaux n'est pas toujours synonyme de moindre impact environnemental. La plupart du temps l'alimentation produite localement ne suffit pas à répondre aux enjeux de sécurité alimentaire (notamment dans les zones à forte densité de population) et n'a pas toujours une empreinte carbone réduite. La durabilité environnementale des systèmes alimentaires comprend beaucoup d'autres facteurs que le seul transport⁸⁶ : saisonnalité et origine animale des choix alimentaires des consommateurs, processus de transformation, utilisation des terres en particulier. Si certains agriculteurs situés près de zones urbaines fortement peuplées d'habitants au pouvoir d'achat élevé peuvent en tirer profit, d'autres en revanche ont davantage intérêt à vendre à des clients situés à plus grande échelle, régionale, nationale ou internationale, et pâtiraient de devoir réduire leurs marchés aux zones voisines de leur zone de production⁸⁷. C'est une chose de favoriser une économie locale et vouloir valoriser les savoir-faire locaux, mais le prétexte de l'empreinte carbone n'est pas toujours honnête.

84 IDDRI (2021) Vers une transition juste des systèmes alimentaires - Enjeux et leviers politiques pour la France <https://www.iddri.org/fr/publications-et-evenements/rapport/vers-une-transition-juste-des-systemes-alimentaires-enjeux-et-85> Benton, T. G., Bailey, R. (2019). The paradox of productivity: agricultural productivity promotes food system inefficiency. *Global Sustainability* 2, e6, 1 – 8. <https://doi.org/10.1017/sus.2019.3> Synthèse de l'article par Hélène Soubelet, directrice de la FRB (décembre 2021) Le paradoxe de la productivité : la productivité agricole favorise l'inefficacité du système alimentaire <https://www.fondationbiodiversite.fr/le-paradoxe-de-la-productivite-la-productivite-agricole-favorise-l-inefficacite-du-systeme-alimentaire/#:~:text=Le%20paradoxe%20de%20la%20productivite%20C3%A9,la%20recherche%20sur%20la%20biodiversite%20C3%A9>

86 Cercle de Giverny (2021) Accélérer la transformation écologique et sociale de la France – 30 propositions pour une RSE systémique. La proposition "Alimentation : produire et distribuer durablement" vise à accélérer la transition écologique des secteurs du transport de marchandises et de la logistique, en particulier en intégrant « systématiquement les enjeux logistiques dans les projets locaux de développement des filières afin d'en garantir la performance ». https://www.forum-giverny.fr/wp-content/uploads/2021/09/30propositions_digital_New.pdf

87 Alexander J. Stein, Fabien Santini (2021) The sustainability of "local" food: a review for policy makers, *Springer Nature, Review of Agricultural, Food and Environmental Studies* <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s41130-021-00148-w.pdf>

88 OCDE Is eating local better for the environment? <https://www.youtube.com/watch?v=7mwGX73EPgM>

• Engagements de neutralité carbone des entreprises de l'agroalimentaire

Certains acteurs de l'agroalimentaire et de la grande distribution incitent leurs fournisseurs à adopter de bonnes pratiques environnementales: **Carrefour**, par exemple, s'est engagé pour atteindre la neutralité carbone en 2040 sur ses émissions directes. Le groupe a annoncé en février 2022 le lancement d'une plateforme destinée à économiser 20 Mt de CO₂ supplémentaires d'ici 2030 par rapport à 2019 chez ses fournisseurs, afin de suivre leurs engagements et leurs progrès en matière de lutte contre le changement climatique et de « valoriser les actions innovantes en la matière ». Les émissions totales seront ensuite comparées au niveau de référence de 2019, actuellement calculé d'après les abaques de l'Ademe par produit, mais qui sera peu à peu remplacé par des données spécifiques des fournisseurs.

McDonald's France a pour objectif⁸⁹ de réduire ses émissions de GES par repas de 35 % d'ici 2030 par rapport à 2005. Le groupe travaille avec un réseau de 80 fermes de référence gérées par des agriculteurs volontaires pour innover et tester des pratiques agroécologiques. En 2021, une nouvelle ferme de la filière blé à ambition zéro carbone a été inaugurée dans le Loiret, pour tester différentes voies de réduction des émissions de GES (engins agricoles électriques, production d'énergies renouvelables, couverts végétaux, intégration de légumineuses dans les rotations) et de séquestration du carbone dans les sols (agroforesterie, régénération des sols avec maintien des haies et prairies permanentes)⁹⁰.

Dans le secteur de la **bière**, les **malteurs** se sont engagés à diminuer de 20 à 60 % leur empreinte carbone d'ici 2030⁹¹ et les **brasseurs** réduisent leurs émissions de CO₂ dans les activités de production, de distribution et de conception de produits. À noter que, en 30 ans, les brasseurs ont diminué en moyenne de 40 % leur consommation d'eau pour la fabrication de la bière. Dans cette filière, le groupe coopératif **Vivescia** s'est récemment associé à **MyEasyFarm**⁹² pour que tous les agriculteurs adhérents au groupe coopératif puissent bénéficier d'un diagnostic carbone simplifié gratuit « bas carbone ». En effet, dans ce cadre, Malteurop, filiale de Vivescia a un partenariat avec la société Heineken pour la production d'orges bas carbone. Ces démarches ont donc pour objectif d'une part de générer des crédits carbone par les pratiques agricoles, et d'autre part d'aboutir à des primes filières, nécessaires pour compenser les frais de mise en œuvre de la transition bas carbone des agriculteurs.

Le groupe **Nestlé** s'est engagé pour la neutralité carbone en 2050, et a annoncé l'objectif de 50 % de ses approvisionnements issus de l'agriculture régénératrice d'ici 2030. La France est le pays pilote de ce projet, en complément des actions en interne de ce groupe, pour la mise en place d'outils d'accompagnement des agriculteurs dans la transition agroécologique, par exemple en s'engageant dans le collectif Sols Vivants⁹³ aux côtés des groupes Soufflet et Carré, de la coopérative Noriap et du groupe coopératif Vivescia, qui sont parmi ses plus importants fournisseurs. En septembre 2021, Nestlé a présenté ses ambitions⁹⁴ pour « soutenir la

89 McDonald's France : Nos actions environnementales <https://www.mcdonalds.fr/nos-engagements/nos-actions-environnementales>

90 McDonald's France : Vers une agriculture zéro carbone <https://www.mcdonalds.fr/nos-engagements/aux-cotes-des-agriculteurs/ferme-a-ambition-zero-carbone>

91 Intercéréales, Passion céréales, Arvalis (avril 2021) Céréales et climat : les transitions à l'œuvre dans la filière céréalière https://arvalis.wedia.fr/file/galleryelement/pj/5d/2e/d0/78/cereales_climat_7avril6093603266762460493.pdf

92 Conférence du 28 février 2022 au Salon International de l'Agriculture, Paris : Les enjeux du bas carbone, Vivescia x MyEasyFarm <https://www.youtube.com/watch?v=tMfSt9BfqZo>

93 Nestlé (communiqué de presse du 30 mars 2021) Nestlé fait de la transition agroécologique l'une de ses priorités climat et annonce 50 % d'approvisionnement de matières premières clés issues de l'agriculture régénératrice d'ici 2030 <https://www.nestle.fr/nestle-fait-de-la-transition-agroecologique-une-de-ses-priorites>

94 Nestlé (communiqué de presse du 16 septembre 2021) Nestlé dévoile ses ambitions pour accélérer la transition vers des systèmes alimentaires régénérateurs <https://www.nestle.fr/media/nestle-devoile-ses-ambitions-pour-la-transition>

transition vers des systèmes alimentaires régénérateurs qui vise à protéger et restaurer l'environnement, améliorer le niveau de vie des agriculteurs et à accroître le bien-être des communautés agricoles ». Constatant que les 2/3 de ses émissions de GES provenaient de la production agricole, Nestlé actionne trois leviers pour inciter les agriculteurs à adopter des pratiques agricoles régénératrices : assistance technique (pour réduire les émissions de la production laitière par exemple), investissements dans des projets pilotes et dans des nouveaux équipements et primes filières (protection des sols, gestion de l'eau et stockage du carbone).

Le groupe **Danone** s'est également engagé à atteindre zéro émission nette d'ici 2050 sur l'ensemble de sa chaîne de valeur. Pour cela, entre autres, le groupe accompagne la transformation des pratiques agricoles. Danone estime que 57 % de ses émissions sont liées à l'agriculture et concentre ses actions sur la séquestration du carbone dans les sols (engagement de Danone France à se procurer 100 % des ingrédients provenant d'une agriculture régénératrice d'ici 2025, partenariat avec les Fermes laitières bas carbone, adhésion à l'initiative 4 pour 1 000...), l'élimination de la déforestation de la chaîne d'approvisionnement et la compensation carbone en investissant dans différents fonds (Livelihoods Carbon Funds)⁹⁵.

La coopérative **Sodiaal** a, pour sa part, annoncé en décembre 2021 accélérer ses engagements pour la transition climatique avec de nouveaux objectifs chiffrés de réduction d'émissions de GES. Elle est engagée dans la réduction de l'empreinte carbone des éleveurs en matière de sensibilisation, plus des trois quarts d'entre eux

ayant déjà réalisé un diagnostic carbone et 225 de ces fermes étant engagées dans le Label Bas Carbone⁹⁶.

Le groupe **McCain**, leader canadien des produits surgelés à base de pomme de terre, a annoncé en 2021 son engagement à mettre en place l'agriculture régénératrice sur 100 % des surfaces de production de pomme de terre de ses fournisseurs agriculteurs à horizon 2030, soit 140 000 ha dans le monde et 800 agriculteurs en France. Le groupe a mis en place des fermes pilotes en France, en Belgique, aux Pays-Bas et en Pologne pour des projets de recherche/développement pour progresser dans les pratiques agricoles durables⁹⁷. En janvier 2022, McCain annonçait la mise en place de contrats dédiés à l'agriculture de régénération après accord avec le Groupement de Producteurs de Pommes de Terre pour l'Industrie (GAPPI). Les agriculteurs sous contrat devront mettre en place certaines pratiques (couverts végétaux, rotations longues, OAD...), bénéficieront d'un accompagnement de terrain, et d'un contrat deux fois plus long que pour les contrats classiques⁹⁸ (6 ans au lieu de 3).

• Le casse-tête de l'information « climat » aux consommateurs citoyens

L'ADEME et le MTE pilotent actuellement une expérimentation d'affichage environnemental sur les produits alimentaires, conformément à la loi AGEC de 2020 et à la loi Climat et Résilience de 2021, pour déterminer les méthodes les plus pertinentes. La complexité des critères environnementaux rend la tâche bien difficile en particulier pour faire l'unanimité parmi les acteurs tant leurs intérêts sont variés, voire divergents...

95 Danone, notre ambition neutralité carbone <https://www.danone.com/fr/impact/planet/towards-carbon-neutrality.html>

96 Sodiaal (8 décembre 2021) La coopérative Sodiaal accélère ses engagements pour la transition climatique et s'engage à se fixer de nouveaux objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre approuvés par l'initiative « Science Based Target » (SBTi) [https://sodiaal.coop/sites/default/files/2021-12/CP_La%20coop%C3%A9rative%20Sodiaal%20acc%C3%A9l%C3%A8re%20ses%20engagements%20pour%20la%20transition%20climatique%20docx%20\(002\).pdf#utm_source=site&utm_medium=cpc&utm_campaign=Sbti](https://sodiaal.coop/sites/default/files/2021-12/CP_La%20coop%C3%A9rative%20Sodiaal%20acc%C3%A9l%C3%A8re%20ses%20engagements%20pour%20la%20transition%20climatique%20docx%20(002).pdf#utm_source=site&utm_medium=cpc&utm_campaign=Sbti)

97 McCain, l'agriculture raisonnée et durable est entre nos mains <https://mccain-foodservice.fr/nos-racines-nous-engagent/une-agriculture-raisonnee-et-durable/>

98 Camille Harel (11 janvier 2022) McCain annonce une nouvelle politique de contractualisation, article paru dans LSA Green <https://www.lsa-conso.fr/mccain-annonce-une-nouvelle-politique-de-contractualisation,400766>

Les conclusions du Conseil scientifique⁹⁹ de cette expérimentation, publiées en octobre 2021, sont les suivantes :

- les informations environnementales à fournir aux consommateurs doivent être élaborées sur la base de la métrique de l'**analyse de cycle de vie** (ACV) et dans le cadre de référence du « Product Environmental Footprint » reconnu à l'échelle européenne pour obtenir un score synthétique unique d'impact des produits alimentaires en agrégeant plusieurs impacts environnementaux (climatique, usage des ressources, émissions de polluants...);
- des correctifs peuvent être apportés pour tenir compte d'**externalités environnementales** des productions agroécologiques ;
- les données génériques publiques fournies par la base de données **Agribalyse** et des données spécifiques privées peuvent être utilisées ;
- l'affichage environnemental doit être **transversal sur l'ensemble de l'alimentation**, sur la base d'un score environnemental synthétique, sur une échelle de cinq niveaux. Celle-ci doit être complétée soit par une valeur numérique de 0 à 100 soit par des sous-scores exprimant les principaux enjeux environnementaux (climat, biodiversité...), pour plus de clarté.

Face à ces constats, des initiatives coexistent sans qu'un consensus se dégage. L'**Eco-score**¹⁰⁰ est un score écologique de A à E qui permet de comparer l'impact des produits alimentaires sur l'environnement. Un score de référence est établi grâce aux données de la base environnementale Agribalyse conçue par l'ADEME et l'INRAE, correspondant à l'ACV des produits (production, emballage et transport des produits). Les différents facteurs pris en compte pour évaluer l'impact environnemental sont les suivants : émissions de GES, destruction de la

couche d'ozone, émission de particules fines, oxydation photochimique, acidification, radioactivité, épuisement de la ressource en eau, pollution de l'eau douce, épuisement des ressources non renouvelables, eutrophisation, utilisation des terres, toxicités, perte de biodiversité. L'éco-score est disponible sur l'application mobile Open Food Facts.



Cependant, cette méthode ne fait pas l'unanimité. En effet, les produits issus de l'agriculture biologique font l'objet d'une notation plus défavorable que les produits issus de l'agriculture conventionnelle car la méthode ne tient pas compte de la biodiversité et de l'utilisation des produits phytosanitaires. Un autre score a donc été proposé par les représentants de l'agriculture biologique : le **Planet-score** : celui-ci tient compte de l'utilisation des pesticides, de la biodiversité, du climat et du bien-être animal¹⁰¹.



Au-delà des postures, une chose est sûre : **un affichage purement climatique n'est pas suffisant mais doit être intégré à d'autres critères d'impact environnemental**. D'une manière générale, on ne peut considérer séparément les dimensions climat, biodiversité, disponibilité et qualité de ressources naturelles. Chaque citoyen-consommateur devrait pouvoir faire ses choix en connaissance de cause et selon ses propres arbitrages.

99 Rapport du Conseil Scientifique – Synthèse (octobre 2021) l'affichage environnemental des produits alimentaires – expérimentation nationale pilotée par le ministère de la Transition écologique, le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, le ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance et l'ADEME <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/affichage-environnemental-produits-alimentaires-synthese-conseil-scientifique.pdf> 100 <https://docs.score-environnemental.com/>

101 Dossier de presse (13 juillet 2021) Planet-score : une proposition ITAB, Sayariu et Very Good Future pour l'affichage environnemental des produits alimentaires http://itab.asso.fr/downloads/actus/itab_-_dossier_de_presse_planet-score_-_13072021.pdf

• Végétaliser l'assiette... pour réduire les émissions de GES ?

La végétalisation de l'assiette et le développement du **flexitarisme**, c'est-à-dire la modulation de la consommation de protéines animales, et principalement de produits carnés¹⁰² contribuent à la réduction de l'empreinte carbone. C'est un argument est à nuancer puisque les prairies permanentes sont un des principaux puits de carbone.

L'offre de produits d'origine végétale se diversifie, en particulier grâce à des innovations. **Protéines France**¹⁰³ est un consortium français d'entreprises pour « fédérer et catalyser le développement des protéines végétales et les nouvelles ressources ». Dans la région Bourgogne-Franche-Comté, le groupe opérationnel **Go Proteins**¹⁰⁴ vise à développer de la valeur par la production et la valorisation de protéines, notamment en favorisant la mise en place de nouvelles cultures et filières.

Dans le Grand Ouest, le projet **LEGGO** (LEgumineuses à Graines Grand Ouest) est une association créée par les chambres d'agriculture pour soutenir l'organisation et le développement d'une filière de légumineuses.

Deux exemples illustrent la volonté de grands groupes de proposer une **alimentation plus**

variée et végétalisée, notamment pour répondre aux enjeux climatiques. Premier exemple, le **groupe Avril** et la société Royal DSM ont créé la joint-venture Olatein pour développer une protéine végétale à partir de colza. L'unité de production, située à Dieppe, valorisera le tourteau de colza pour l'alimentation humaine à partir de 2022 sur un ancien site industriel. Second exemple, le groupe Roquette développe la production de protéines de pois à partir d'une amidonnerie à Vic sur Aisne (Hauts de France). À noter qu'outre l'amidonnerie, le développement des valorisations des coproduits est particulièrement important dans les sucreries/éthanoleries ou les huileries.

• Une production alimentaire qui s'affranchit des aléas climatiques

La production agricole et alimentaire en **milieu fermé** est aujourd'hui limitée (à part sous serre) mais pourrait se développer pour éviter de trop dépendre des aléas climatiques. Des innovations sous forme de **fermes verticales** font leur apparition depuis quelques années mais ne représentent que des segments de marchés marginaux et concentrés sur les fruits et légumes, des herbes aromatiques les insectes, les algues ou microalgues. De plus, très peu d'entreprises en France explorent la production *in vitro*.

Nos propositions pour que les filières agroalimentaires valorisent les actions de l'amont :

- **mettre en place des primes filières rémunératrices** pour les agriculteurs qui sont engagés dans la transition bas carbone sur la base de multiples critères : taux de carbone organique dans les sols, biodiversité, sobriété de la consommation d'eau, bilan carbone... ;
- **diversifier l'offre alimentaire végétale (légumineuses, céréales)** permettant à la fois de valoriser les qualités agronomiques et de résilience climatique de certaines plantes (légumineuses permettant de réduire les émissions de N₂O, cultures tolérantes au manque d'eau et aux fortes chaleurs) et d'encourager la végétalisation de l'assiette des consommateurs pour un meilleur équilibre entre protéines animales et végétales ;
- **pour une information multicritère et non trompeuse** des citoyens-consommateurs à l'aide de **scores de durabilité harmonisés au niveau européen** cohérents avec les critères permettant de générer les crédits carbone agricoles.

102 Note Agridéas (octobre 2020) Flexitarisme : une opportunité pour la chaîne alimentaire ? <https://www.agrideas.com/notes/flexitarisme-une-opportunit-e-pour-la-cha-ine-alimentaire/>

103 <http://www.proteinesfrance.fr/>

104 <https://bourgognefranchecomte.chambres-agriculture.fr/recherche-innovation/groupes-operationnels-et-projet-du-pei-agri/go-proteins/>

• **IV-2-Des énergies renouvelables et locales en substitution aux énergies fossiles importées**

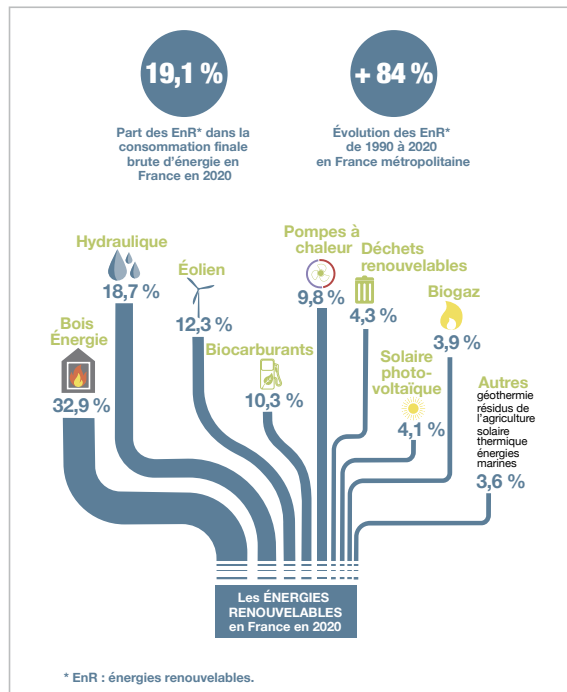
L'agriculture a un rôle à jouer important pour contribuer au développement de la production et la consommation locales d'énergies renouvelables dans les trois grandes catégories : **électricité, chaleur et carburants.**

Les objectifs de développement des énergies renouvelables, fixés par la Directive européenne 2009/28/CE du 23 avril 2009 n'ont pas été atteints en France en 2020 : elles n'ont représenté que **19,1 % de la consommation énergétique nationale, en deçà de l'objectif de 23 %**. La France ne fait d'ailleurs pas partie des bons élèves de l'UE en matière d'énergies renouvelables : en 2019, notre pays n'occupait que la 17^e position sur les 27 États membres selon la part de leur consommation finale brute d'énergie produite à partir de sources renouvelables. En fait, la France a fait le choix

historique d'une énergie décarbonée mais non renouvelable : le nucléaire.

En 2020, marquée par la pandémie de Covid-19 et la récession économique, la consommation de biocarburants a baissé pour atteindre 34 Terawatt-heures (TWh), soit 2 % de la consommation annuelle d'énergie en France. **La consommation française finale brute d'énergies renouvelables pour la chaleur et le froid est restée stable à 157 TWh.** La filière biogaz, en nette progression grâce à la forte augmentation des injections de biométhane, est restée marginale et ne représentait que 5 TWh.

En revanche, **la consommation d'électricité renouvelable a progressé pour atteindre 120 TWh en 2020.** Elle est essentiellement composée d'hydroélectricité et de source éolienne. Les filières du solaire photovoltaïque et du biogaz étaient marginales en 2020, atteignant respectivement 14 et 3 TWh, en augmentation (*Voir Annexe XVIII*).



Sources : MTS, Service des données et études Statistiques (SDES).
Chiffres clés des énergies renouvelables - Édition 2020.

• La méthanisation agricole

La construction de méthaniseurs est en progression en France, tirée par l'intérêt des grands groupes tels que GRDF, Total Energies (qui a acquis Fonroche biogaz, leader du gaz renouvelable) ou encore Nestlé. D'autre part, le développement des certifications de qualité et l'obligation de tri des déchets organiques par les collectivités constituent des opportunités de développement pour la méthanisation agricole.

L'engouement pour la méthanisation vient du fait qu'elle constitue la principale méthode de réduction des émissions de méthane de la production agricole. La grande méthode répertoriée est la méthanisation des effluents d'élevage, comme le souligne le CITEPA. Cependant, les projets de méthanisation souffrent souvent d'un défaut de compréhension et d'adhésion du voisinage, ce qui freine ou remet en cause leur mise en œuvre.

En France, il existe actuellement 1175 unités de méthanisation (ADEME, 1^{er} janvier 2022) dont 80 % sont situées à la ferme (voir *Annexe XIX*). Les trois quarts sont en cogénération (système traditionnel générant électricité et chaleur) et le quart restant en injection (plus récent, en fort développement, générant biométhane¹⁰⁵ injecté ou biogaz naturel pour véhicules - bioGNV). La moyenne des méthaniseurs est de 250 KW/unité de méthanisation en France. Notre pays est le troisième producteur de biogaz en Europe après l'Allemagne et l'Italie. En Allemagne, il existe dix fois plus d'unités de méthanisation qu'en France, mais la production outre Rhin a démarré plus tôt pour compenser en partie la sortie du nucléaire dans son bouquet énergétique¹⁰⁶.

La méthanisation est un **levier efficace d'atténuation du changement climatique selon trois axes** :

- **production d'une énergie renouvelable** (électricité + chaleur ou biométhane ou bioGNV) en substitution aux énergies fossiles ;
- **traitement des déchets et coproduits** (effluents d'élevage, biodéchets des collectivités et coproduits des industries agroalimentaires) émetteurs de CH₄ et N₂O par une valorisation énergétique. Contrairement au modèle allemand, la France a fait le choix de limiter à 15 % la part des cultures dédiées, au fort pouvoir méthanogène, dans les intrants ;
- **meilleure gestion de l'azote - réduction des émissions de N₂O des cultures** (utilisation des couverts intermédiaires à vocation énergétique-CIVE- dans le méthaniseur, épandage du digestat comme engrais azoté), réduisant les besoins en engrais azotés et les émissions de N₂O.

La méthanisation prend tout son sens lorsqu'elle répond simultanément à plusieurs enjeux, au-delà du climat :

- contribution à la durabilité économique de l'exploitation agricole, malgré le besoin élevé en investissements de départ (plusieurs millions d'euros) : création d'emplois locaux et non délocalisables (2 à 4 par unité de méthanisation) ; réduction des coûts de production liés aux achats d'engrais azotés grâce à l'épandage du digestat et à la mise en place de couverts végétaux (CIVE) qui améliorent la fertilité des sols ; meilleur rendement du méthaniseur en cas d'intégration de co produits et déchets verts urbains aux pouvoirs méthanogène élevé ; meilleure autonomie énergétique de l'exploitation ; moindre dépendance aux fluctuations des prix des engrais azotés ; diversification de l'activité agricole, plus d'autonomie et de résilience ;
- contribution à la durabilité sociale de l'exploitation, malgré les réticences a priori de certains riverains : l'association d'intrants animaux et végétaux, issus des industries agroalimentaires et de collectivités locales,

105 Le biogaz est constitué de 55 % de CH₄ + 45 % CO₂ + traces d'autres gaz

106 Carbone4 (août 2021) Biométhane et climat font-ils bon ménage ? <https://www.carbone4.com/publication-biomethane-climat>

et en alimentant en énergie des acteurs locaux (chaleur pour un bâtiment public, carburant pour véhicules du voisinage, cars scolaires...) permet aux unités de méthanisation de mieux s'intégrer dans les territoires ; un système de financement participatif peut contribuer à leur légitimité, tout comme leur ouverture au public, aux écoles... ;

– **contribution à la durabilité environnementale des exploitations** : intégration des productions animales et végétales dans une approche d'économie circulaire ; amélioration de la santé des sols grâce à la mise en place de CIVE (augmentation du taux de matière organique, moins de sols nus et donc d'érosion...) ; possibilité d'installer une station de BioGNV à la ferme.

Les principaux points de vigilance sont :

– **les conflits d'usage** sur un territoire donné, entre valorisations alimentaires et énergétiques des mêmes matières premières (céréales, sucre, amidon en particulier) et la **maîtrise technique afin de bien gérer les risques** ;
– **l'acceptabilité sociétale** des projets liée notamment au **trafic des camions** qui transportent les matières premières alimentant le méthaniseur.

D'une manière générale, une **montée en compétences** est nécessaire pour savoir gérer un risque industriel (risque d'explosion), optimiser les rendements (compétences en biologie : le méthaniseur est un élevage de bactéries anaérobies), et maîtriser le risque de pollution des sols (l'azote est plus volatil dans le digestat, qui doit être stocké pour l'épandre lorsque les cultures en ont besoin)¹⁰⁷.

• L'agrivoltaïsme

L'agrivoltaïsme consiste à produire de l'électricité décarbonée par des panneaux photovoltaïques implantés sur des terres agricoles, tout en permettant la production agricole sur ces mêmes terres. Dans la pratique, les panneaux

solaires sont implantés en hauteur et non à même le sol pour permettre aux productions agricoles de se dérouler en-dessous, et notamment au matériel agricole de circuler.

Cette voie permet d'accélérer le déploiement de la production d'électricité d'origine photovoltaïque agricole, en complétant la production d'électricité par les panneaux solaires implantés à même le sol et sur les bâtiments agricoles, contribuant ainsi à répondre aux objectifs de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) d'ici 2028 et à l'objectif ultime de neutralité carbone en 2050.

L'agrivoltaïsme vise à combiner la performance économique de la production agricole et énergétique, par exemple en utilisant des ombrières pour protéger les cultures ou les animaux d'élevage d'un ensoleillement et d'une chaleur trop forte, du gel ou de la grêle, contribuant ainsi à l'adaptation au changement climatique et à la performance économique des exploitations agricoles, en améliorant leur autonomie énergétique.

Les plantes cultivées en agrivoltaïsme devront être adaptées à des conditions d'ombrage partiel. Sélection génétique et agrivoltaïsme sont des leviers qui devront donc être combinés pour optimiser leur efficacité.

Plusieurs entreprises proposent des solutions : les grands groupes TotalEnergie, EDF et ENGIE d'une part et les plus petites entreprises telles que TSE, Ombréa ou Sun Agri.

L'agrivoltaïsme a fait récemment l'objet de **plusieurs missions d'information parlementaire** car il n'est pas clairement défini à ce jour et a donc besoin de cadre¹⁰⁸. Une charte¹⁰⁹ pour développer et mieux encadrer les projets photovoltaïques au sol sur les terres agricoles a d'ailleurs vu le jour en 2021.

107 Marie-Cécile Damave (20 décembre 2021) Innovations au service de l'agriculture – Opportunités et risques émergents <https://www.agrideas.com/articles/innovations-au-service-de-lagriculture-opportunites-et-risques-emergents/>
108 Commission du développement durable, Assemblée nationale (5 janvier 2022) Mission d'information flash Agrivoltaïsme [https://www2.assemblee-nationale.fr/15/commissions-permanentes/commission-du-developpement-durable/\(block\)/77241](https://www2.assemblee-nationale.fr/15/commissions-permanentes/commission-du-developpement-durable/(block)/77241)

109 <https://www.fnsea.fr/actualite/C3%A9s/une-charte-pour-developper-et-mieux-encadrer-les-projets-photovoltaïques-au-sol-sur-terres-agricoles/>

Le principal danger est la concurrence entre production énergétique et production agricole sur le même sol, et donc le risque d'artificialisation. Un agrivoltaïsme vertueux doit s'inscrire non seulement dans la production d'énergies renouvelables mais également dans l'adaptation performante de la production agricole aux dérèglements climatiques, en permettant d'augmenter la productivité agricole dans des zones impactées par les aléas climatiques. La **production agricole doit avoir la priorité** dans ces installations afin de répondre en premier lieu à l'enjeu de sécurité alimentaire, et l'**installation des panneaux solaires doit donc être réversible**. De plus, les panneaux solaires doivent être pilotables pour créer un microclimat au-dessus des parcelles agricoles, et l'installation doit permettre de bien gérer la ressource en eau. L'installation de panneaux solaires doit permettre de sécuriser la production agricole.

• Biocarburants

La France est un des pays européens où la production et la consommation de biocarburants sont les plus développées. Elle est même le quatrième pays producteur mondial de biocarburants après les États-Unis, le Brésil et l'Allemagne. En 2020, la consommation française de biocarburants était principalement constituée de biodiesel d'origine végétale (*Voir Annexe XX*).

Le biodiesel continue à représenter l'écrasante majorité des biocarburants produits et consommés en France, poussé entre 2006 et 2008 par les incitations fiscales (taxe incitative

relative à l'incorporation de biocarburants – Tirib, ex-TGAP) et encouragés par le niveau élevé et/ou fluctuant du cours du pétrole.

La filière bioéthanol européenne aurait contribué à réduire les émissions de GES de 75 % par rapport aux carburants fossiles en 2020, selon ePure¹¹⁰.

Le défi pour notre pays consiste aujourd'hui à consolider les acquis en matière de biocarburants de première génération et à accélérer le développement des biocarburants avancés, dans un monde où la demande en carburants liquides pour les transports, est concurrencée par l'électrification massive des véhicules légers¹¹¹. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie¹¹², la demande en biocarburants (en particulier issus des déchets, résidus et cultures ligneuses) pourrait à l'avenir se concentrer dans les **transports de longue distance**, qui ne peuvent s'électrifier (aviation, transport routier et maritime).

110 ePure press release (26 juin 2021) EU ethanol sets new record for greenhouse-gas reduction, increasing its importance to Europe's Green Deal Goals <https://www.epure.org/press-release/eu-ethanol-sets-new-record-for-greenhouse-gas-reduction-increasing-its-importance-to-europes-green-deal-goals/>

111 Analyse Agridées (24/07/2020) Perspectives agricoles OCDE/FAO pour 2020-2029 : croissance mondiale, saturation européenne <https://www.agridees.com/analyses/perspectives-agricoles-ocde-fao-pour-2020-2029-croissance-mondiale-saturation-europeenne/>

112 International Energy Agency (May 2021) Net Zero by 2050 – a roadmap for the Global Energy Sector <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> et Analyse Agridées (3 juin 2021) Agriculture et climat : Je t'aime moi non plus <https://www.agridees.com/analyses/agriculture-et-climat-je-t-aime-moi-non-plus/>

Nos propositions pour la production rentable d'énergies renouvelables :

- développer en priorité les **méthaniseurs** qui permettent de traiter les effluents d'élevage, les déchets des collectivités, les coproduits des industries agroalimentaires et les résidus de culture à l'échelle de la région administrative pour limiter les nuisances liées au transport des matières premières ;
- encourager les projets collectifs de **méthaniseurs** dont la production d'énergie est bénéfique pour les collectivités et les acteurs locaux afin de faciliter leur acceptation par le voisinage ;
- **favoriser les installations d'agrivoltaïsme en association avec les productions animales lorsque ces installations apportent du confort aux animaux, et végétales** (viticulture, grandes cultures, maraîchage, cultures pérennes) **adaptées grâce à la sélection variétale**. Donner la priorité à la production alimentaire face à la production énergétique en cas d'arbitrage ;
- réaliser un **bilan carbone complet** en tenant compte du cycle de vie des panneaux solaires et de l'unité de méthanisation ;
- **mobilisation en priorité de la biomasse agricole non alimentaire** (les coproduits et les résidus de cultures, les effluents d'élevage et les cultures intermédiaires) pour produire des bioénergies renouvelables ;
- stimuler la R&D&I de **biocarburants** avancés (produits à partir de biomasse non alimentaire et de coproduits animaux et végétaux) pour les transports de longue distance ;
- mettre en place un **affichage** auprès des citoyens-consommateurs sur **l'origine renouvelable et biosourcée** de l'énergie produite par les agriculteurs.

• IV-3-Décarbonation des autres secteurs de l'économie

La biomasse agricole et forestière contribue non seulement à la décarbonation de l'énergie, mais également à celle des autres secteurs d'activité dans le cadre de l'économie biosourcée, aussi appelée la **bioéconomie**¹¹³.

Décarboner l'économie revient à trouver des substituts non fossiles aux ressources fossiles, notamment le pétrole. Or le pétrole est aujourd'hui valorisé en différentes fractions (*Voir Annexe XXI*):

- les trois quarts les plus lourds sont valorisés en **carburants** : une moitié en essence, qui peut être en partie remplacée par l'électrification des véhicules légers, et l'autre moitié en carburants lourds ;
- un quart, plus léger, est valorisé dans la **chimie organique** (Naphta), en gaz de pétrole liquéfié (propane et butane) et en gaz légers (méthane, éthane).

La **biomasse est la source de carbone alternative au pétrole**, mobilisant des bioraffineries non seulement pour produire des carburants mais également pour alimenter le secteur de la chimie. Cette ressource est renouvelable et exploitable de manière efficiente. Selon l'**Association Chimie Du Végétal** (ACDV) 11 % des matières premières utilisées par l'industrie de la chimie sont déjà d'origine végétale. La chimie du végétal représente en France 10 milliards € de chiffre d'affaires/an. Elle utilise des procédés de fabrication moins énergivores (biotechnologies, cogénération...) fonctionnant dans des conditions douces (faibles températures) et propose des solutions durables et alternatives aux voies pétro-sourcées¹¹⁴.

De nos jours, les **systèmes de bioraffinerie sont en pleine mutation, consacrant le passage à l'échelle industrielle** de différents projets, avec l'aide notamment de BPI France et son fonds dédié (le Fonds de Sociétés de Projet

113 Note d'Agridées (octobre 2018) Bioéconomie : entreprises agricoles et société, une urgence partagée <https://www.agrideas.com/notes/bioeconomie-entreprises-agricoles-et-societe-une-urgence-partagee-2/>

114 Agridées (14/04/2022) Economie, climat, santé – La chimie du végétal au cœur des enjeux <https://www.agrideas.com/articles/economie-climat-sante-la-chimie-du-vegetal-au-coeur-des-enjeux/>

industriel ou SPI) et le programme européen Bio-Based Industries (BBI) qui finance des unités industrielles qui mettent en œuvre pour la première fois des innovations de rupture.

Par exemple, **TotalEnergies** dans sa stratégie visant la neutralité carbone en 2050, prévoit de réduire de 55 à 30 % la part des produits pétroliers dans ses ventes de produits d'ici 2030, intégrant biocarburants, biogaz et bases biosourcées. Cette société annonçait en 2020 la **transformation de sa raffinerie de Grandpuits (Seine-et-Marne) en une plateforme zéro pétrole**, une bioraffinerie, arrêtant le raffinage de pétrole et produisant des biocarburants (aériens et routiers) et des bioplastiques (PLA) à partir de sucre, biodégradables et recyclables¹¹⁵.

Autre exemple, la **plateforme chimique de Carling Saint Avold** (Moselle), qui a accueilli pendant 70 ans une centrale de production d'électricité à partir de charbon, se transforme depuis 2021 en **bioraffinerie**. Elle accueille notamment deux sociétés emblématiques de la bioéconomie et plus particulièrement de la chimie verte : **Afyren**¹¹⁶, qui produit des acides

organiques biosourcés et des engrais potassiques à partir de coproduits de betteraves sucrières, et **Metex Noovista**, qui produit des ingrédients naturels (pour la cosmétique, la nutrition, les arômes...) par fermentation de matières premières agricoles. Notons que Afyren et Metex Noovista ont toutes les deux bénéficié du fonds SPI de BPI France.

Enfin, les biomatériaux sont une autre voie prometteuse de décarbonation de l'économie grâce à des matières premières biosourcées. Dans l'industrie du bâtiment, le bois est déjà beaucoup utilisé, mais le chanvre peut également servir à fabriquer du béton, ce qui contribue à stocker du carbone organique durablement.

Pour les agriculteurs, ces mutations de l'agro-industrie, avec le déploiement des valorisations industrielles de produits et coproduits agricoles, contribuent à la **sécurisation des volumes et des prix**, jouant un rôle d'amortisseur face aux fluctuations des prix des matières premières agricoles sur les marchés internationaux.

Notre proposition pour contribuer à décarboner les autres industries :

- **augmenter l'offre de produits biosourcés et inciter à leur consommation** en affichant l'empreinte carbone (un « **score carbone** ») de tous les produits ainsi que leur teneur en produits d'origine biosourcée.

115 TotalEnergies (24/09/2020) Transition énergétique : Total transforme sa raffinerie de Grandpuits en une plateforme zéro pétrole de biocarburants et bioplastiques grâce à un investissement de plus de 500 millions € <https://totalenergies.com/fr/medias/actualite/actualites/transition-energetique-total-transforme-sa-raffinerie-grandpuits>

116 Voir l'interview de Caroline Petigny, Directrice RSE, Communications et Affaires publiques d'Afyren <https://www.agrideas.com/3-questions/caroline-petigny/>

CONCLUSION

Les dérèglements climatiques impactent tous les secteurs d'activité à l'échelle de la planète et nous avons vu combien ces phénomènes sont étudiés et font l'objet de nombreuses stratégies et politiques publiques internationales, européennes et nationales pour tenter de contenir ces évolutions à des niveaux acceptables pour l'humanité.

L'agriculture est par nature sujette aux aléas climatiques et les dérèglements climatiques ont déjà impacté la production agricole, affectant la productivité des plantes cultivées et des animaux d'élevage et modifiant leur phénologie en particulier. Au-delà de l'**adaptation des pratiques**, les agriculteurs doivent **anticiper plus précisément ces aléas** pour pouvoir continuer à assurer leur vocation nourricière et pour conserver un modèle d'affaires rentable. Cela passe par la **mise en place d'outils de résilience** très divers, dont la rentabilité n'est généralement pas immédiate, mais s'installe sur la durée.

Les outils les plus efficaces pour ce faire sont spécifiques à chaque cas particulier mais seront, d'une manière générale, ceux qui :

- ne réduisent pas (voire augmentent) la **productivité agricole** pour préserver le revenu et la sécurité alimentaire ;
- contribuent en même temps à l'**adaptation individuelle** des exploitations agricoles et à l'**atténuation du changement climatique, collectivement**, par les acteurs du monde agricole ;
- font l'objet de **démarches des filières alimentaires et non-alimentaires** : les actions des agriculteurs doivent être visibles pour les citoyens-consommateurs et valorisées par les filières à l'aide de primes rétribuant les agriculteurs pour leurs bonnes pratiques.

Dans ce contexte, les **deux grands leviers** que nous avons identifiés sont les suivants :

La transition graduelle vers une agriculture de précision et bas carbone consiste à la fois à

modifier les conduites agronomiques et zootechniques pour optimiser le taux de matière organique dans les sols, à utiliser des outils technologiques de précision (OAD numériques et modèles mathématiques prédictifs, sélection génétique, équipements, nutrition des plantes et des animaux) pour améliorer le bilan carbone (réduire les émissions de gaz à effet de serre et augmenter le stock de carbone organique dans les sols), à augmenter la fertilité des sols et leur capacité de rétention d'eau, et à utiliser plus efficacement cette ressource ainsi que les fertilisants. Toutes ces actions doivent également contribuer à protéger la biodiversité. Un engagement dans une telle transition nécessite des politiques publiques dédiées, en particulier un **accompagnement financier** (aides publiques, crédits carbone), un **gain de compétences** à l'aide d'information et de formations et une rétribution par les filières « bas carbone » et « climato-intelligentes » jusqu'à un affichage auprès des citoyens-consommateurs.

Cette voie est progressive et demande **d'accélérer la R&D et le déploiement de certaines innovations** encore insuffisantes : outils de gestion des risques fondés sur des modèles prédictifs, solutions de nutrition (additifs alimentaires, biofertilisants, bio-stimulants), sélection génétique des animaux d'élevage et des plantes cultivées, et agro-équipements (irrigation de précision, robots électriques), permettant d'améliorer le bilan carbone, d'utiliser plus efficacement l'azote et de mieux tolérer les stress hydriques et thermiques. Enfin, transmettre la création de valeur tout au long des filières doit se traduire par une **information des consommateurs** à l'aide de scores de durabilité multicritères.

Le second levier est la **production d'énergies renouvelables**. C'est une transformation plus radicale de l'activité agricole. Elle nécessite des investissements conséquents en installant une véritable unité industrielle, et se trouve

confrontée à une perception sociétale parfois méfiante. La **méthanisation** est un levier puissant pour répondre simultanément aux enjeux économiques et climatiques (adaptation et atténuation), à la fois au niveau des exploitations agricoles (autonomie énergétique et en engrais, gestion des effluents d'élevage) et plus largement au niveau national (souveraineté énergétique). Mais implanter un méthaniseur est un acte compliqué (organisation des acteurs, étude de projet, recherche de financements, formation, gestion de l'acceptation sociétale...) et chaque agriculteur n'a pas vocation à devenir méthaniseur. Le modèle à privilégier est au carrefour entre élevage et agriculture, monde industriel et monde agricole, collectivités locales et monde rural pour assurer les trois piliers de la durabilité : économique, environnementale et sociétale. **L'agrivoltaïsme** est prometteur, émergent et son cadre est en construction. Il doit permettre de protéger les productions agricoles des aléas climatiques. Enfin, les **filières bio-carburants** sont bien installées dans notre pays et efficaces en matière d'atténuation du changement climatique. Avec celles de la **chimie du végétal**, elles impactent indirectement les agriculteurs mais leur permettent de sécuriser leurs débouchés. Un affichage **« biosourcé et renouvelable »** de ces produits non alimentaires issus de la biomasse agricole doit être proposé aux citoyens-consommateurs pour mieux les valoriser.

La panoplie des outils est donc large et doit être adaptée à la situation de chaque exploitation agricole. Il n'est pas question d'appliquer les mêmes recettes uniformément sur tout le territoire¹¹⁷, voire sur toutes les parcelles. Par contre, chaque chef d'entreprise agricole devra faire ses propres choix en connaissance de cause, pour peu qu'il soit conseillé et accompagné efficacement^{118 119}.

Au final, pour répondre à la fois aux impératifs de sécurité alimentaire, de décarbonation de l'ensemble de l'économie (dont le secteur de l'énergie) et de fixation du carbone, la productivité agricole devra continuer à progresser.

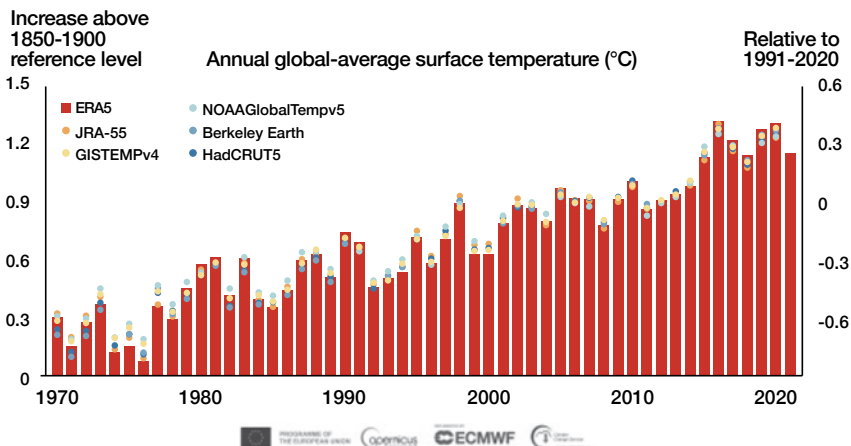
117 Jean-Michel Salles, Félix Teillard d'Eyry, Muriel Tichit, Maiko Vinicius Zanella. Land sparing versus land sharing: an economist's perspective. Regional Environmental Change, Springer Verlag, 2017, 17 (5), pp.1455-1465. ff10.1007/s10113-017-1142-4ff. fhal-01605098

118 Dossier « L'entreprise agricole face au défi climatique », La Revue Agridées n° 243, décembre 2020.

119 Dossier « Innovations : quels services aux agriculteurs ? », La Revue Agridées n° 244, mars 2021.

ANNEXE I – AUGMENTATION DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR ET DES TAUX DE GAZ À EFFET DE SERRE DANS L'ATMOSPHÈRE

Moyennes annuelles mondiales de la température de l'air

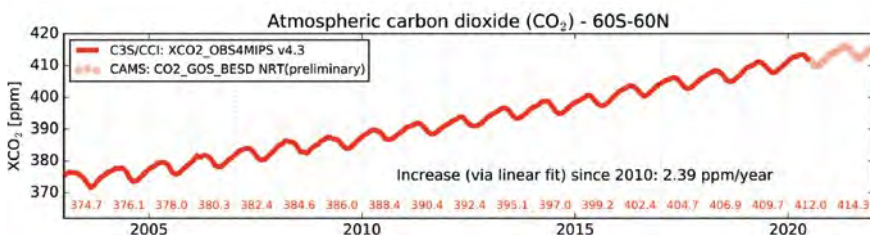


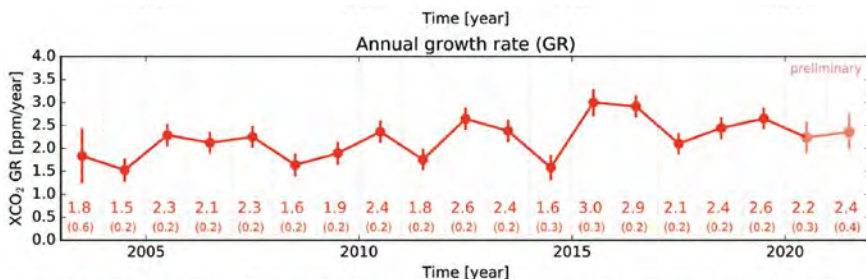
Moyennes annuelles de la température de l'air à l'échelle mondiale à une hauteur de deux mètres, évolution estimée depuis la période préindustrielle (axe de gauche) et par rapport à la période 1991-2020 (axe de droite) selon différents ensembles de données : Barres rouges : ERA5 (ECMWF Copernicus Climate Change Service, C3S) ; points : GISTEMPv4 (NASA) ; HadCRUT5 (Met Office Hadley Centre) ; NOAAGlobalTempv5 (NOAA), JRA-55 (JMA) ; et Berkeley Earth. Crédit : Copernicus Climate Change Service/ECMWF.

51
72

Source : Copernicus <https://climate.copernicus.eu/copernicus-globally-seven-hottest-years-record-were-last-seven>

Concentrations mondiales mensuelles de CO₂ et taux de croissance annuels moyens





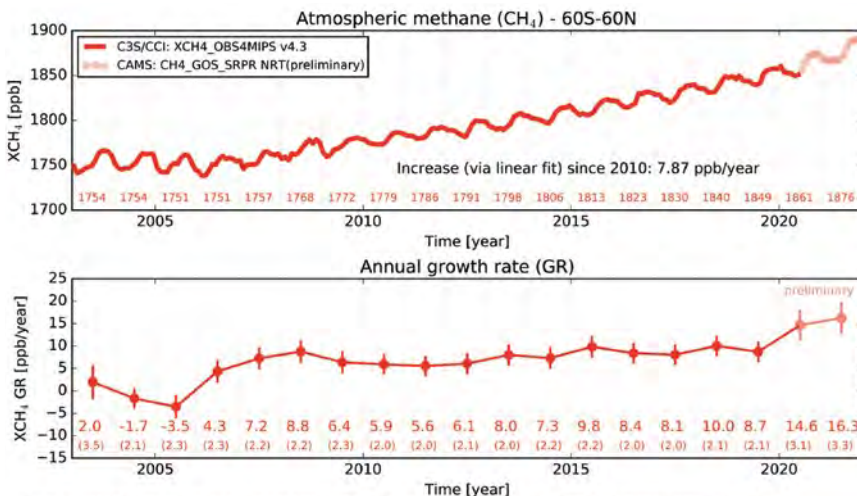
Data: 01_2003-06_2020:XCO2_OBS4MIP5(v4.3); after 06_2020:CAMS(NRT) - Satellites:SCIAMACHY/ENVISAT+GOSAT+OCO-2 - Credit:C3S/CCI/CAMS/Univ.Bremen/SRON



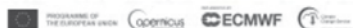
Concentrations mondiales mensuelles de CO₂ provenant des satellites (panneau supérieur) et taux de croissance annuels moyens dérivés (panneau inférieur) pour 2003-2021. En haut : les valeurs numériques en rouge indiquent les moyennes annuelles de XCO₂. En bas : taux de croissance annuels moyens de XCO₂ dérivés des données présentées dans le panneau supérieur. Les valeurs numériques indiquées correspondent au taux de croissance en ppm/an, avec une estimation de l'incertitude entre parenthèses. Source des données : enregistrements C3S/Obs4MIPs (v4.3) consolidés (2003-mi-2020) et données préliminaires CAMS en temps quasi réel (mi-2020-2021). Crédit : Université de Brême pour le Copernicus Climate Change Service et le Copernicus Atmosphere Monitoring Service/ECMWF

Source : Copernicus <https://climate.copernicus.eu/copernicus-globally-seven-hottest-years-record-were-last-seven>

Concentrations mondiales mensuelles de CH₄ et taux de croissance annuels moyens



Data: 01_2003-06_2019:XCH4_OBS4MIP5(v4.3); after 06_2020:CAMS(NRT) - Satellites:SCIAMACHY/ENVISAT+GOSAT - Credit: C3S/CCI/CAMS/Univ.Bremen/SRON



Concentrations mondiales mensuelles de CH₄ provenant des satellites (panneau supérieur) et taux de croissance annuels moyens dérivés (panneau inférieur) pour 2003-2021. En haut : les valeurs numériques en rouge indiquent les moyennes annuelles de XCH₄ dans la plage de latitude 60oS – 60oN. En bas : taux de croissance annuels moyens de XCH₄ dérivés des données présentées dans le panneau supérieur. Les valeurs numériques indiquées correspondent au taux de croissance en ppb/an, y compris une estimation de l'incertitude entre parenthèses.

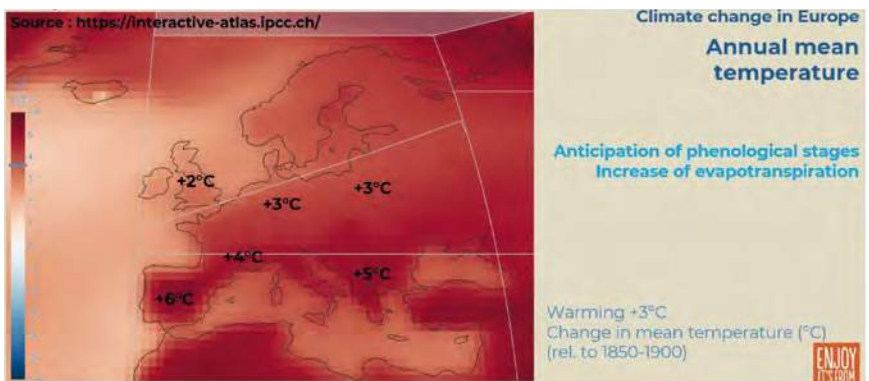
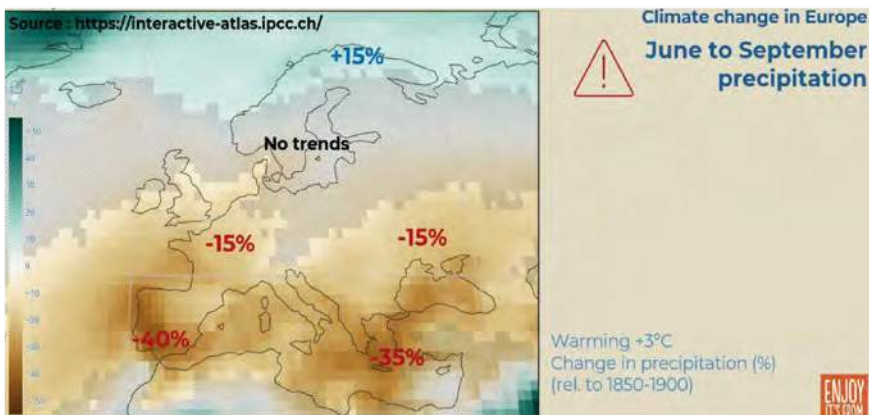
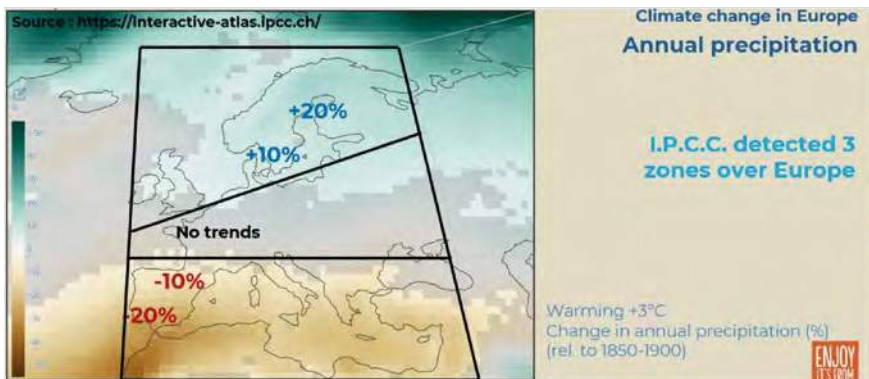
Source des données : Enregistrements consolidés (2003-mi 2020) du C3S/Obs4IPs (4.3) et données préliminaires en temps quasi réel du CAMS (mi-2020-2021).

Crédit : Université de Brême pour les services Copernicus sur le changement climatique et SRON Netherlands Institute for Space Research à Leiden pour le service Copernicus de surveillance de l'atmosphère/ECMWF.

Source : Copernicus <https://climate.copernicus.eu/copernicus-globally-seven-hottest-years-record-were-last-seven>

ANNEXE II – PRÉVISIONS DES VARIATIONS DE PRÉCIPITATIONS EN EUROPE PAR LE GIEC

(Scénario à +3° C par rapport aux temps préindustriels)



Impact du changement climatique en Europe d'après INRAE et European Environment Agency (2019) :

Zones côtières et maritimes

Élévation du niveau de la mer
Intrusion d'eau de mer

Région méditerranéenne

Multiplication des périodes de grande chaleur
Réduction des précipitations
Risque accru de sécheresse
Risque accru de perte de biodiversité
Augmentation des besoins en eau pour l'agriculture
Baisse du rendement des cultures
Conditions d'élevage plus difficiles
Grande vulnérabilité aux conséquences du CC en dehors de l'Europe

Région boréale

Multiplication des fortes pluies
Augmentation des précipitations
Renforcement des tempêtes hivernales et aggravation de leurs conséquences
Amélioration des rendements agricoles

Région atlantique

Multiplication des fortes pluies
Risque accru d'inondation et de submersion marine
Risque accru de dégâts causés par des tempêtes en hiver

Région continentale

Multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes
Réduction des précipitations en été
Risque accru d'inondation

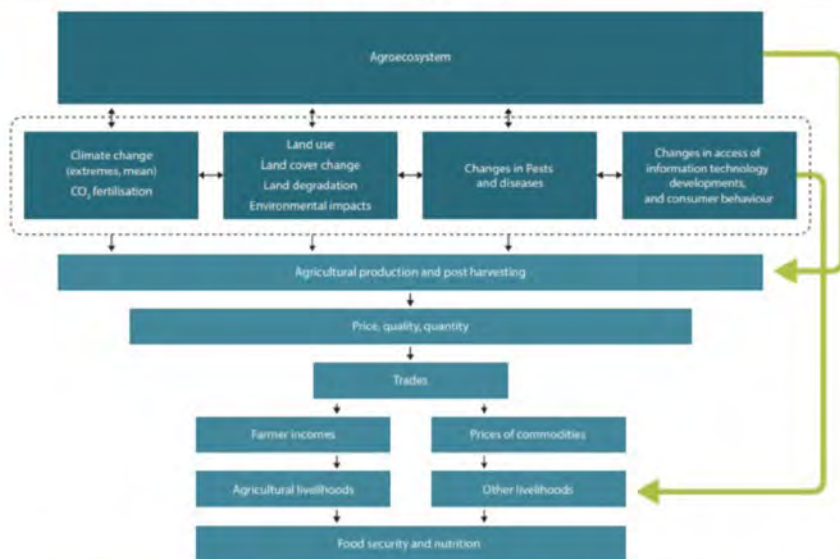
Zones de montagne

Augmentation de la température supérieure à la moyenne européenne
Déplacement des plantes et des animaux à une altitude plus élevée
Risque accru de grêle
Risque accru de gel
Risque accru de chutes de pierres et de glissements de terrain



ANNEXE III – EFFETS EN CASCADE : DU CHANGEMENT CLIMATIQUE À L'INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Figure 1.8 Schematic representation of the cascading effects



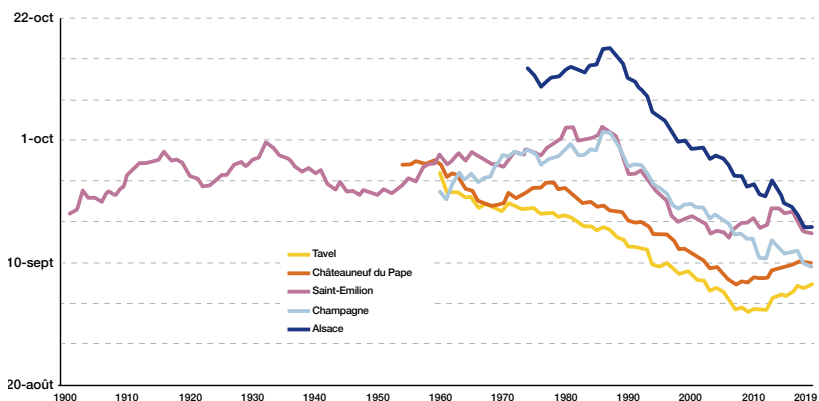
Note: The chain of cascading effects from climate change that impacts agro-ecosystems, agricultural production, market, trade and food security and nutrition. The green arrows represent direct impacts of changes in agro-ecosystems on agricultural production (through, for example, changes in agricultural practices) and impacts of drivers on livelihoods.

Source: Adapted from FAO (2016).

Source : European Environment Agency (2019) Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe.

ANNEXE IV – IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA PHÉNOLOGIE ET LES RENDEMENTS EN FRANCE

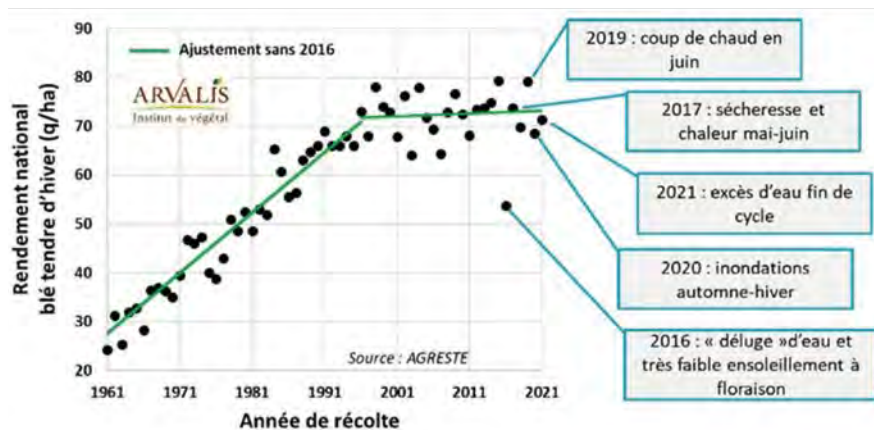
Evolution de la date de vendange (moyenne décennale) entre 1901 et 2019 pour panel de vignobles français



Source : ONERC – Crédits : Inter-Rhône, ENITA Bordeaux, INRA Colmar, Comité interprofessionnel du vin de Champagne.

56

72



Source : Arvalis.

ANNEXE V – EMPREINTE CARBONE DE LA PRODUCTION AGRICOLE ET ALIMENTAIRE MONDIALE

The Emissions Footprint of Food

Every aspect of the production and consumption of food has an impact carbon emissions. Here, the emissions from both plant-based and animal-based food are broken down by the various practices that are involved in the global food system, from tilling soil to producing fertilizer to transporting products.

KEY

Colors show subsectors of plant- and animal-based food production and consumption

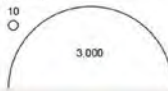
Land-use change (such as conversion of forests into agricultural land)

Farmland activities (such as plowing soil and using farm machinery)

Livestock emissions (such as methane produced by ruminant animals)

Activities beyond the farm gate (such as fertilizer production, livestock slaughter and butchering, and transportation of food products)

Circle sizes show annual quantities of greenhouse gas (million metric tons of CO₂ equivalent)



Filled circles show emissions

Dotted outlines show carbon sequestration

Plant-Based Foods



Animal-Based Foods



Other Utilizations (Nonfood Commodities)

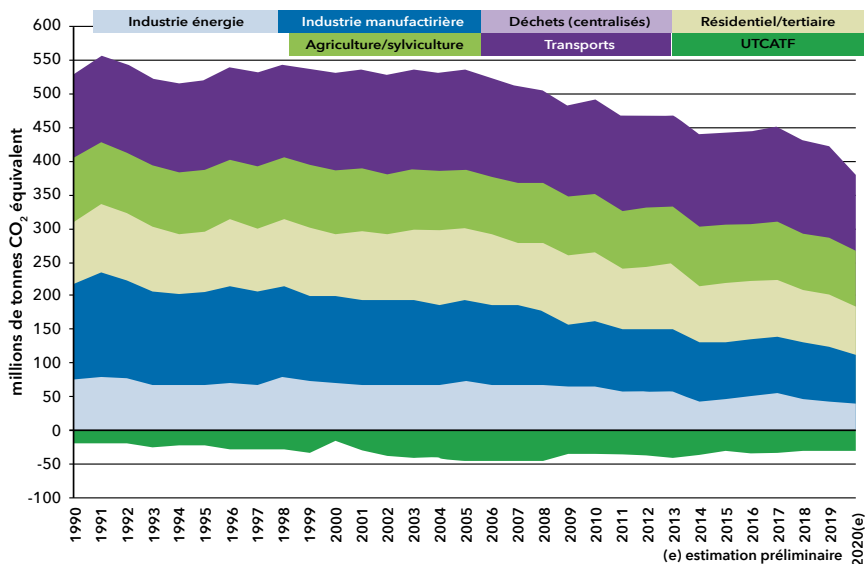
Soybean oil, for example, falls under this category because it is part of the food system but is used in many nonfood products.



Source : Andrea Thompson (13 September 2021) Here's how much food contributes to climate change, Scientific American <https://www.scientificamerican.com/article/heres-how-much-food-contributes-to-climate-change/#>

ANNEXE VI – ÉVOLUTION ET RÉPARTITION DES ÉMISSIONS DE GES FRANCE

Évolution des émissions dans l'air de CO₂e depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)



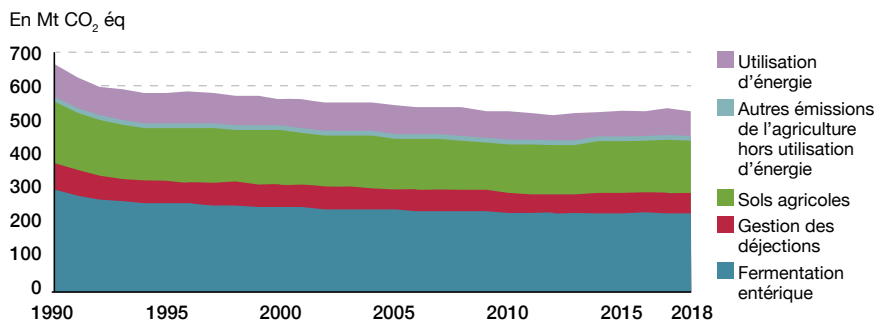
58

72

Sources : CITEPA (juillet 2021) Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques – Bilan des émissions en France de 1990 à 2020, Rapport national d'inventaire/format SECTEN https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/Citepa_Rapport-Secten_ed2021_v1_30072021.pdf

ANNEXE VII – SOURCES DES ÉMISSIONS AGRICOLES EN FRANCE ET DANS L'UE

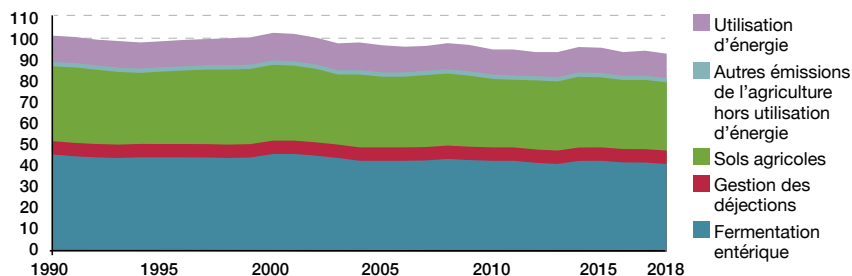
ÉMISSIONS DE GES DE L'AGRICULTURE DANS L'UE À 27



Source : AEE, 2020.

ÉMISSIONS DE GES DANS L'AGRICULTURE EN FRANCE

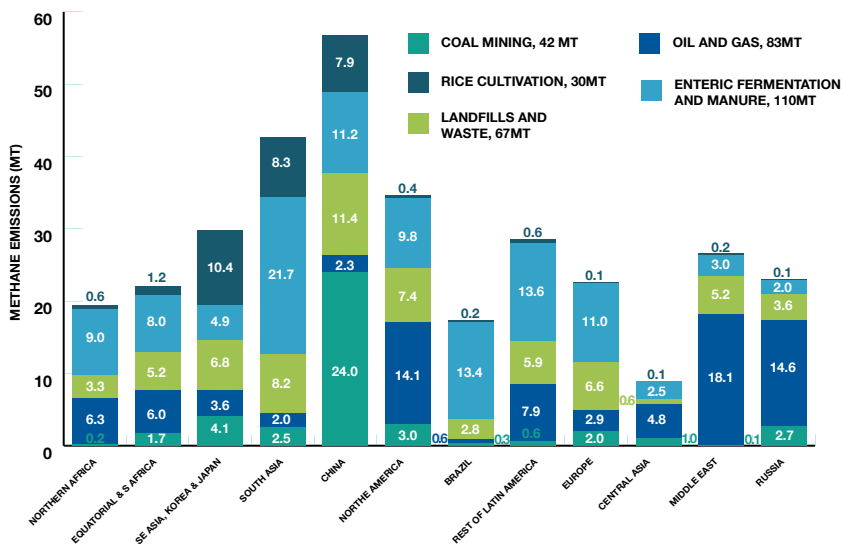
En Mt CO₂ éq



Source : AEE, 2020.

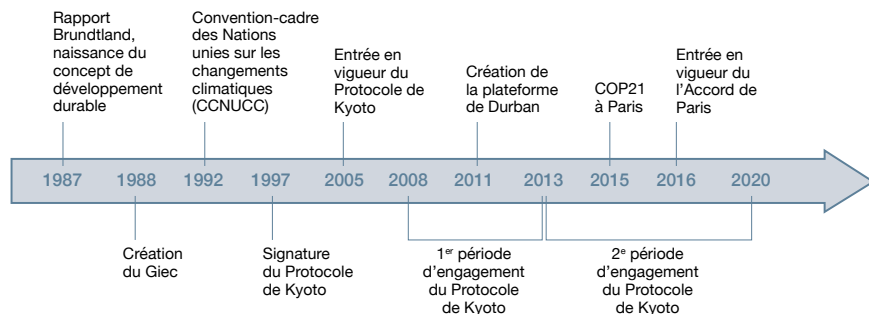
Source : AEE, 2020

ANNEXE VIII – ÉMISSIONS MONDIALES DE MÉTHANE PAR RÉGION ET PAR SECTEUR



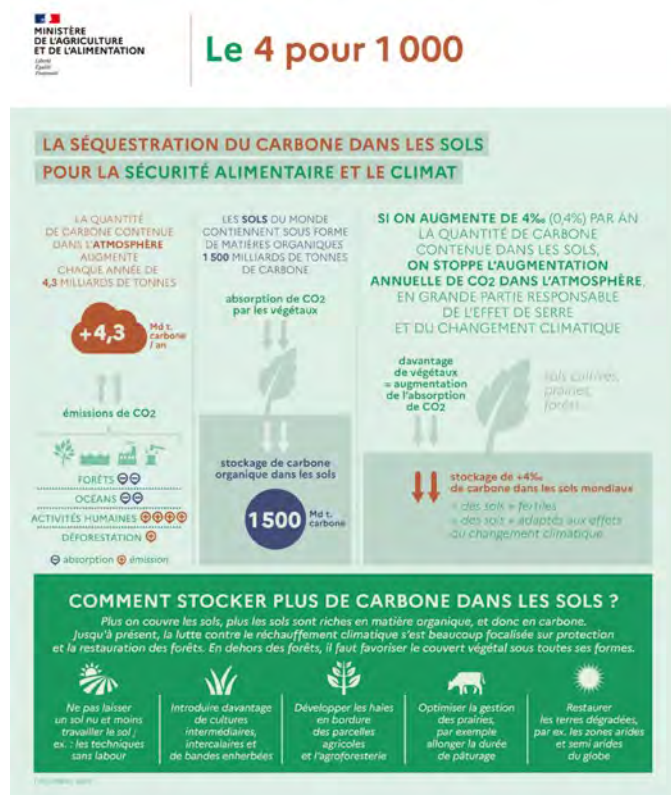
Source : UNEP, Global methane assessment – Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions (2021).

ANNEXE IX – GRANDES ÉTAPES DES NÉGOCIATIONS INTERNATIONALES SUR LE CLIMAT



Source : MTE, Chiffres clés du climat France, Europe et Monde, éditions 2021.

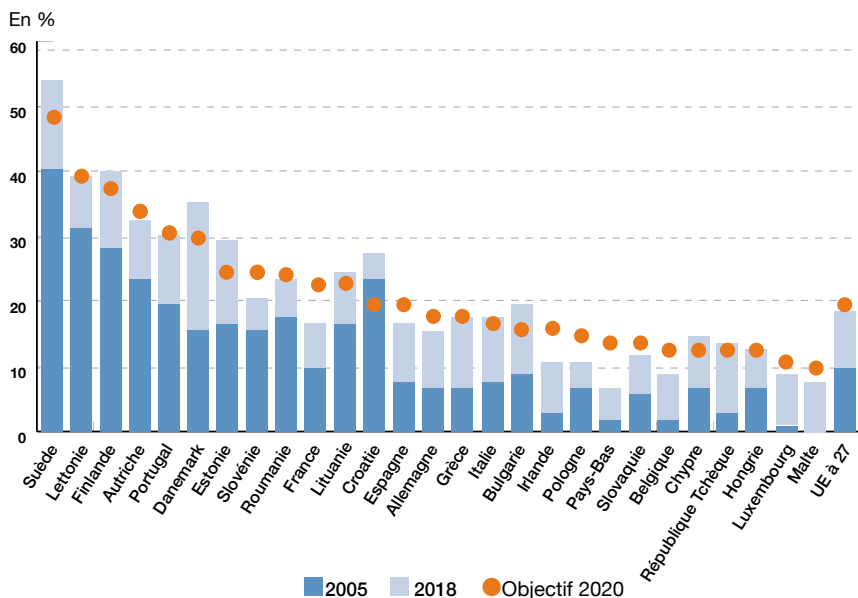
ANNEXE X – LE 4 POUR 1 000



Source : <https://agriculture.gouv.fr/infographie-le-4-pour-1000>

ANNEXE XI – ÉNERGIES RENOUVELABLES : OBJECTIFS ET RÉALISATIONS

Part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale brute des États membres : objectifs de la Directive 2009/28/CE



Source : MTE d'après I4CE et Eurostat 2020.

ANNEXE XII – PLAN D'ACTION DU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE POUR RÉPONDRE À LA SNBC

(en Mt CO ₂ eq)	Émissions historiques réalisées années de référence			Émissions annuelles moyennes pour la période		
	1990	2005	2015	2 ^e budget carbone 2019-2023	3 ^e budget carbone 2024-2028	4 ^e budget carbone 2029-2033
Agriculture/sylviculture (hors UTCATF)	94	90	89	82	77	72
dont N ₂ O	40	38	37	35	33	31
dont CH ₄	43	40	40	37	34	32
Secteur UTCATF (utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie)	-26	-48	-41	-39	-38	-42

ANNEXE XIII – PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DE L'ÉNERGIE (PPE)

Capacité installée en GW	2018 (PPE 2016)	2023 (PPE 2016)	2023 (PPE 2020)	2028 (PPE 2020)
Hydroélectricité	25,3	25,8 - 26,05	25,7	26,4 - 26,7
Éolien terrestre	15	21,8 - 26	24,1	33,2 - 34,7
Éolien en mer	0,5	3	2,4	5,2 - 6,2
Photovoltaïque	10,2	18,2 - 20,2	20,1	35,1 - 44
Biomasse solide	0,54	0,79 - 1,04	0,9	0,8
Biogaz	0,137	0,237 - 0,3	0,27	0,34 - 0,41
Géothermie	0,008	0,053	0,024	0,024
Total	52	70 - 77	73,5	101 - 113

GW = gigawatt.

Source : PPE (2016-2017), OPECST (2019)

Source : France Stratégie (juillet 2021) La biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel énergétique ? https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-dt_-_biomasse_agricole_-_quelles_ressources_pour_quel_potentiel_energetique_-_29-07-21.pdf

ANNEXE XIV – BILAN HUMIQUE

Le bilan humique mesure le stock de carbone dans un sol résultant des entrées moins les sorties sur une période. Les entrées sont la partie de biomasse fraîche restituée au sol qui sera humifiée, c'est-à-dire transformée en carbone stable :

Entrées de carbone dans les sols

Fraction de biomasse fraîche restituée au sol qui va être humifiée, c'est-à-dire transformée en **carbone stable**.

Définie par un coefficient propre à chaque matière fraîche restituée. Ex : paille : 15 %

Le reste de la biomasse est minéralisé (ou respiré ou oxydé) sous forme de CO₂ = **minéralisation primaire**

Coefficient des couverts végétaux fréquemment utilisés en grandes cultures est : 27 % (part du carbone photosynthétisé par les couverts ensuite stocké sous forme d'humus dans le sol

Coefficient de la paille de blé : 15 %

Sorties de carbone dans les sols

Fraction du stock de carbone du sol minéralisé tous les ans par l'activité biologique = **minéralisation secondaire**.

Définie par un coefficient qui dépend du type de sol et du climat, voire du travail du sol

Il n'y a pas de levier efficace pour diminuer franchement ce coefficient d'un sol, donc diminuer la quantité de C minéralisée tous les ans. Ce n'est d'ailleurs pas vraiment souhaitable puisque cela reviendrait à diminuer la restitution d'éléments minéraux par le sol, et donc sa fertilité et sa respiration.

Levier d'action principal : augmenter les restitutions et donc maximiser la photosynthèse (cultures + couverts) et recourir à des amendements extérieurs.

Sources :

- Sylvain Hypolite, Agrod'Oc (septembre/octobre 2021) Carbone et énergie en agriculture : quels enjeux ? de la Revue TCS, 2021 https://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/tcs114_dossier_pour_a2c.pdf
- Pascal Boivin, le rôle du carbone en agriculture, formation Pour agriculture du vivant (2021) https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Le_r%C3%B4le_du_carbone_en_agriculture,_par_Pascal_Boivin

Le taux de matière organique du sol est proportionnel au pourcentage de carbone organique (% matière organique = % carbone organique x 1,725). Il faudra donc plus de MO pour atteindre la même qualité structurale lorsque la teneur en argile augmente.

Il y a 10 fois plus de carbone que d'azote dans la matière organique du sol. Augmenter le stock de carbone implique donc d'augmenter le stock d'azote, pour maintenir le rapport C/N constant.

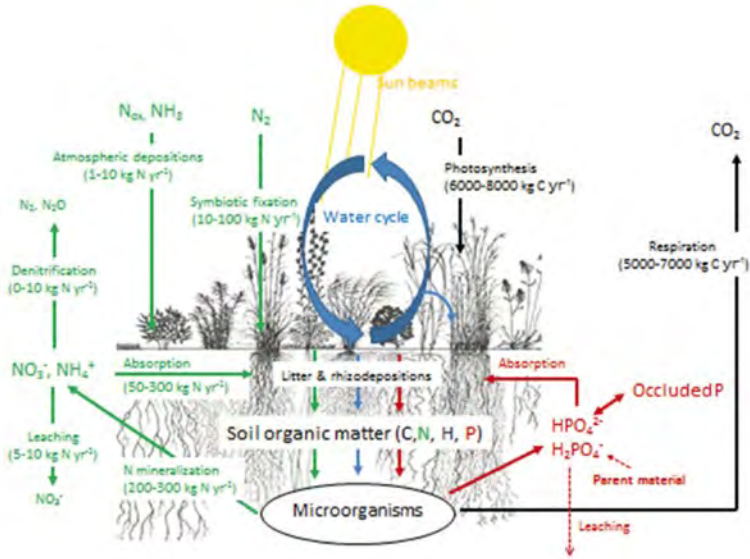
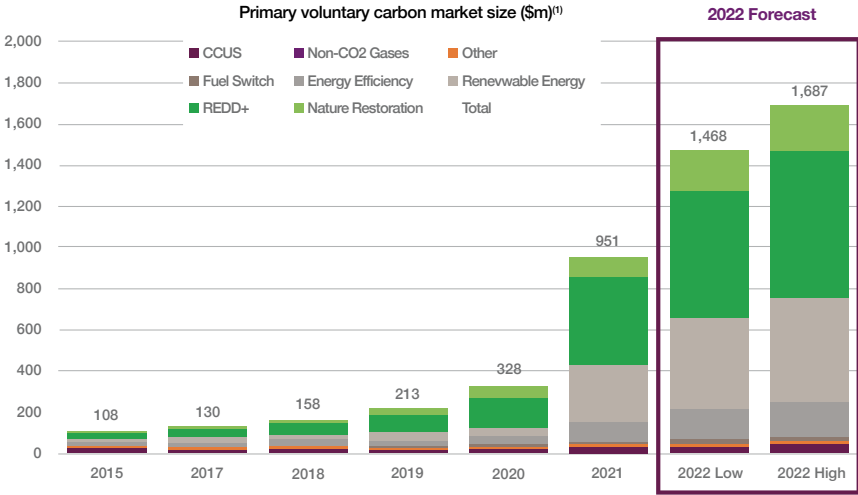


Figure 11 Schéma simplifié des cycles couplés du carbone, de l'azote, du phosphore et de l'eau dans un écosystème terrestre. Les flux de carbone et d'azote exprimés en kg de carbone et d'azote par hectare et par an sont des ordres de grandeurs pour des écosystèmes tempérés et tropicaux non inondés (condition aérobie).

Sébastien Fontaine (2019) Cycles biogéochimiques dans les écosystèmes terrestres : de la compréhension à l'écoconception dans un contexte de changement global. Sciences du Vivant [q-bio]. Université Paris Sorbonne <https://hal.inrae.fr/tel-02790645/document>

ANNEXE XV – MARCHÉ VOLONTAIRE DU CARBONE

The value of the primary Voluntary Carbon Market grew by 190% in 2021 to just under ¥1 bn. We expect the primary market to grow by 50 – 80% in 2022 to reach ¥ 1.5 – 1.7 bn.



64

McKinsey

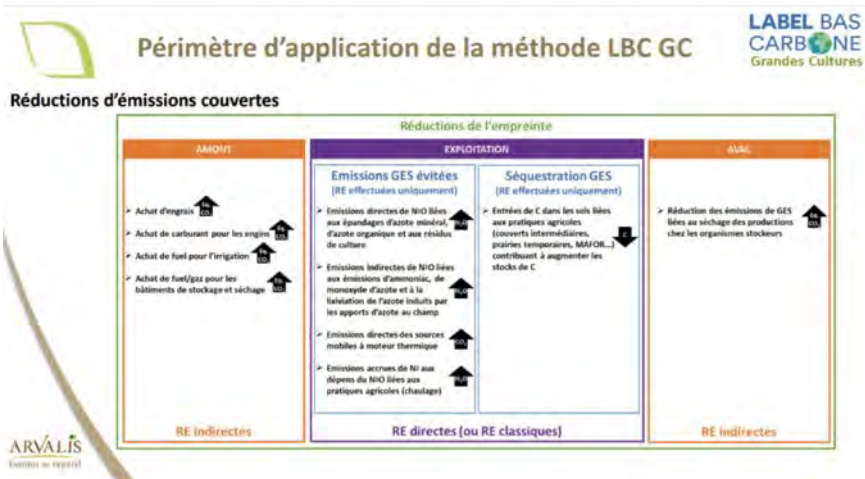
Source : <https://www.visualcapitalist.com/visual-guide-to-carbon-markets/>

72

Légende : CCUS : Carbon Capture and Storage : capture et stockage de carbone

REDD+ : ce programme de Réduction des Émissions dues à la Déforestation et à la Dégradation Forestière dans les pays tropicaux inclut également la gestion durable, la conservation et le renforcement des stocks de carbone liés à la forêt.

ANNEXE XVI – LABEL BAS CARBONE

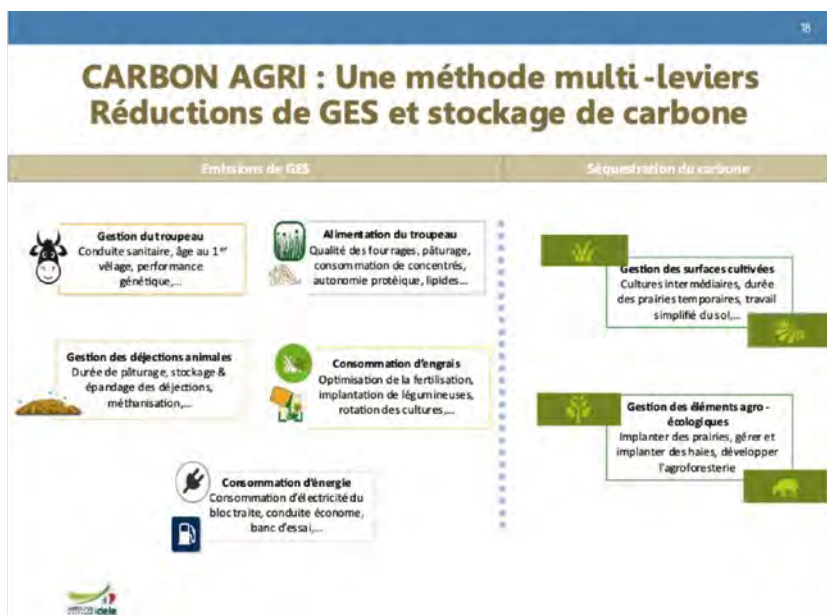


Source : Arvalis.

Les leviers de réduction d'émissions GES et/ou de stockage de C dans les sols

Réduction des émissions de GES associées aux combustibles fossiles	Réduction des émissions de GES associées à la Fertilisation	Réduction des émissions par stockage C dans le sol
Réduire la consommation de carburant des engins (nbre de passages, travail du sol) ou (ecoconduite, autoguidage, motorisation électrique...)	Réduction de la dose d'azote minérale apportée (bilan, conditions climatiques d'apport, OAD, modulation intra parcellaire)	Augmenter la quantité de biomasse restituée par les couverts végétaux, -> l'intégration ou extension des couverts végétaux dans les rotations
Réduire la consommation de carburant des moteurs thermiques utilisés pour l'irrigation	Introduire des légumineuses dans les rotations (cultures principales, intermédiaires) ou des cultures à plus faible besoin en azote	Augmentation des restitutions par les résidus de cultures -> restitution des résidus, augmentation de la production de biomasse par unité de surface notamment via l'implantation de cultures plus productives ...
Réduire la consommation d'énergie fossile des systèmes de séchage ou de stockage à la ferme	Chaulage des sols acides (pH initial < 6,8)	Apport de nouvelles matières amendantes d'origine résiduaire organique (MAFOR) sur le système de culture -> effluents d'élevage, composts, déchets urbains et industriels, digestats ...
	Utilisation d'inhibiteurs de nitrification	Insertion et allongement des prairies temporaires et artificielles (luzerne par exemple) dans les rotations
	Réduction de la volatilisation de l'azote (enfouissement, formes moins émettrices, inhibiteurs d'uréase)	

Source : Arvalis.



Source : IDELE.

ANNEXE XVII – SCÉNARIOS DE L'ADEME POUR LA NEUTRALITÉ CARBONE EN 2050

LA SOCIÉTÉ EN 2050



S1 GÉNÉRATIONS FRUGALES



S2 COOPÉRATIONS TERRITORIALES

MODES DE VIE			
SOCIÉTÉ	Société	<ul style="list-style-type: none"> Recherche de sens Frugalité choisie mais aussi contrainte Préférence pour le local Nature sanctuarisée 	
	Alimentation	<ul style="list-style-type: none"> Division par 3 de la consommation de viande Part du bio : 70 % 	
	Habitat	<ul style="list-style-type: none"> Rénovation massive et rapide Limitation forte de la construction neuve (transformation de logements vacants et résidences secondaires en résidences principales) 	
	Mobilité des personnes	<ul style="list-style-type: none"> Réduction forte de la mobilité Réduction d'un tiers des km parcourus par personne La moitié des trajets à pied ou à vélo 	
ÉCONOMIE	Technique	<ul style="list-style-type: none"> Innovation autant organisationnelle que technique Règne des low-tech, réutilisation et réparation Numérique collaboratif Consommation des data centers stable grâce à la stabilisation des flux 	
	Gouvernance	<ul style="list-style-type: none"> Décision locale, faible coopération internationale Réglementation, interdiction et rationnement <i>via</i> des quotas 	
	Territoire	<ul style="list-style-type: none"> Rôle important du territoire pour les ressources et l'action « Démétropolisation » en faveur des villes moyennes et des zones rurales 	
	Macro-économie	<ul style="list-style-type: none"> Nouveaux indicateurs de prospérité (écarts de revenus, qualité de la vie...) Commerce international contracté 	
	Industrie	<ul style="list-style-type: none"> Production au plus près des besoins 70 % de l'acier, mais aussi de l'aluminium, du verre, du papier-carton et des plastiques viennent du recyclage 	
			<ul style="list-style-type: none"> Évolution soutenable des modes de vie Économie du partage Équité Préservation de la nature inscrite dans le droit
		<ul style="list-style-type: none"> Division par 2 de la consommation de viande Part du bio : 50 % 	
		<ul style="list-style-type: none"> Rénovation massive, évolutions graduelles mais profondes des modes de vie (cohabitation plus développée et adaptation de la taille des logements à celle des ménages) 	
		<ul style="list-style-type: none"> Mobilité maîtrisée -17 % de km parcourus par personne Près de la moitié des trajets à pied ou à vélo 	
		<ul style="list-style-type: none"> Investissement massif (efficacité énergétique, EnR et infrastructures) Numérique au service du développement territorial Consommation des data centers stable grâce à la stabilisation des flux 	
		<ul style="list-style-type: none"> Gouvernance partagée Fiscalité environnementale et redistribution Décisions nationales et coopération européenne 	
		<ul style="list-style-type: none"> Reconquête démographique des villes moyennes Coopération entre territoires Planification énergétique territoriale et politiques foncières 	
		<ul style="list-style-type: none"> Croissance qualitative, « réindustrialisation » de secteurs clés en lien avec territoires Commerce international régulé 	
		<ul style="list-style-type: none"> Production en valeur plutôt qu'en volume Dynamisme des marchés locaux 80 % de l'acier, mais aussi de l'aluminium, du verre, du papier-carton et des plastiques viennent du recyclage 	



S3 TECHNOLOGIES VERTES

- Plus de nouvelles technologies que de sobriété
- Consumérisme « vert » au profit des populations solvables, société connectée
- Les services rendus par la nature sont optimisés

- Baisse de 30 % de la consommation de viande
- Part du bio : 30 %



- Déconstruction-reconstruction à grande échelle de logements
- Ensemble des logements rénovés mais de façon peu performante: la moitié seulement au niveau Bâtiment Basse Consommation (BBC)

- Mobilités accompagnées par l'État pour les maîtriser : infrastructures, télétravail massif, covoiturage
- + 13 % de km parcourus par personne
- 30 % des trajets à pied ou à vélo



- Ciblage sur les technologies les plus compétitives pour décarboner
- Numérique au service de l'optimisation
- Les data centers consomment 10 fois plus d'énergie qu'en 2020

- Cadre de régulation minimale pour les acteurs privés
- État planificateur
- Fiscalité carbone ciblée

- Métropolisation, mise en concurrence des territoires, villes fonctionnelles



- Croissance verte, innovation poussée par la technologie
- Spécialisation régionale
- Concurrence internationale et échanges mondialisés

- Décarbonation de l'énergie
- 60 % de l'acier, mais aussi de l'aluminium, du verre, du papier-carton et des plastiques viennent du recyclage



S4 PARI RÉPARATEUR



- Sauvegarde des modes de vie de consommation de masse
- La nature est une ressource à exploiter
- Confiance dans la capacité à réparer les dégâts causés aux écosystèmes

- Consommation de viande quasi-stable (baisse de 10 %), complétée par des protéines de synthèse ou végétales



- Maintien de la construction neuve
- La moitié des logements seulement est rénovée au niveau BBC
- Les équipements se multiplient, alliant innovations technologiques et efficacité énergétique

- Augmentation forte des mobilités
- + 28 % de km parcourus par personne
- Recherche de vitesse
- 20 % des trajets à pied ou à vélo



- Innovations tout azimut
- Captage, stockage ou usage du carbone capté indispensable
- Internet des objets et intelligence artificielle omniprésents : les data centers consomment 15 fois plus d'énergie qu'en 2020



- Soutien de l'offre
- Coopération internationale forte et ciblée sur quelques filières clés
- Planification centralisée du système énergétique

- Faible dimension territoriale, étalement urbain, agriculture intensive



- Croissance économique carbonée
- Fiscalité carbone minimaliste et ciblée
- Économie mondialisée

- Décarbonation de l'industrie pariant sur le captage et stockage géologique de CO₂
- 45 % de l'acier, mais aussi de l'aluminium, du verre, du papier-carton et des plastiques viennent du recyclage

Société

Alimentation

Habitat

Mobilité des personnes

Technique

Rapport au progrès, numérique, R&D

Gouvernance

Échelles de décision, coopération internationale

Territoire

Rapport espaces ruraux – urbains, artificialisation

Macro-économie

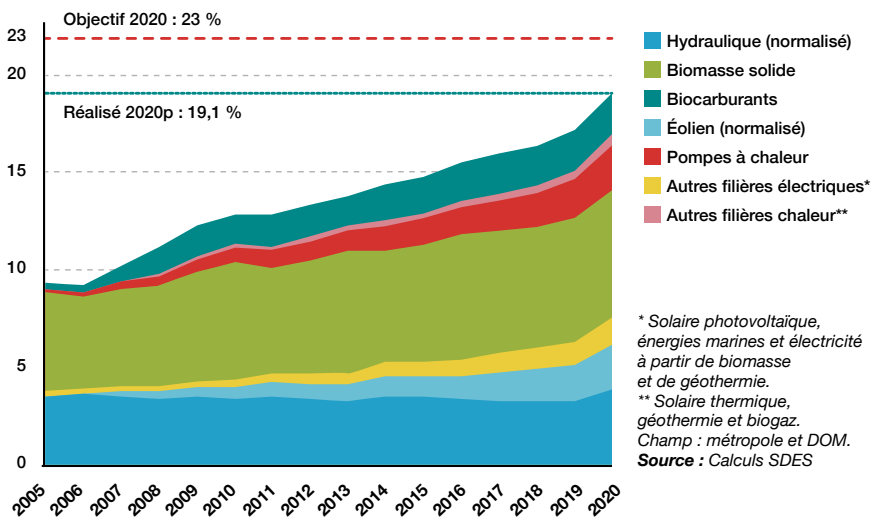
Industrie

MODES DE VIE

ÉCONOMIE

ANNEXE XVIII – PART DES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LA CONSOMMATION FINALE BRUTE D'ÉNERGIE

En %

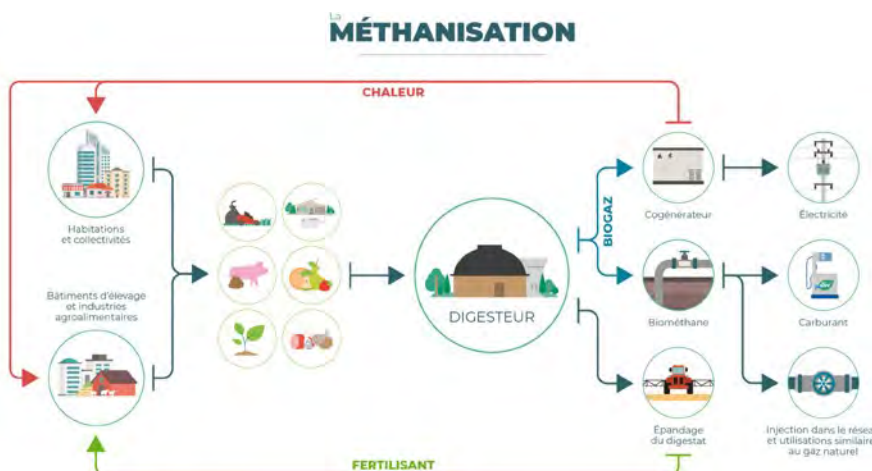


68

72

Source : Ministère de la Transition écologique (avril 2021) : les énergies renouvelables en France en 2020 – suivi de la Directive 2009/28/CE relative à la promotion de l'utilisation des énergies renouvelables https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-04/datalab_essentiel_244_enr_2020_directive_ce_avril2021_0.pdf

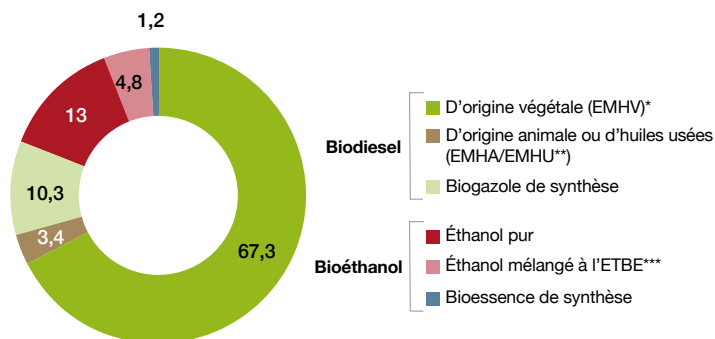
ANNEXE XIX – LA MÉTHANISATION



Source : <https://www.infometha.org/pour-aller-plus-loin/methanisation>

ANNEXE XX – BIOCARBURANTS

En %



Répartition de la consommation finale de biocarburants par filière en 2020

Total : 33,9 TWh

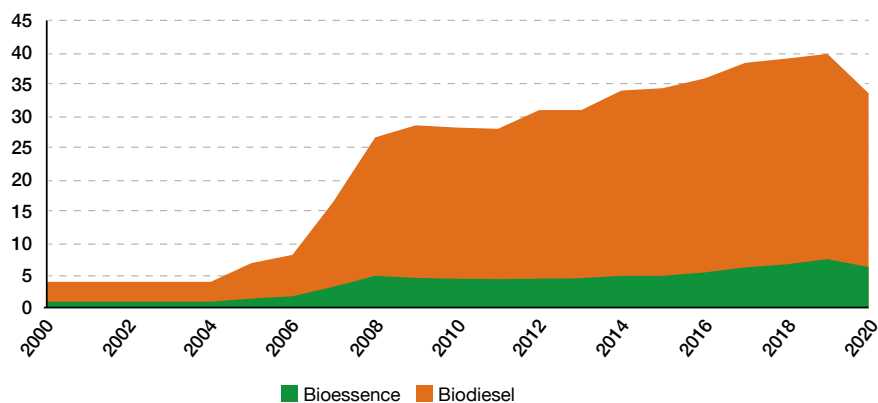
* EMHV : ester méthyliques d'huiles végétales.

** EMHA/EMHU : ester méthyliques d'huiles animales ou usées.

*** ETBE : éther éthyle tertio butyle.

Source : SDES, d'après DGEC.

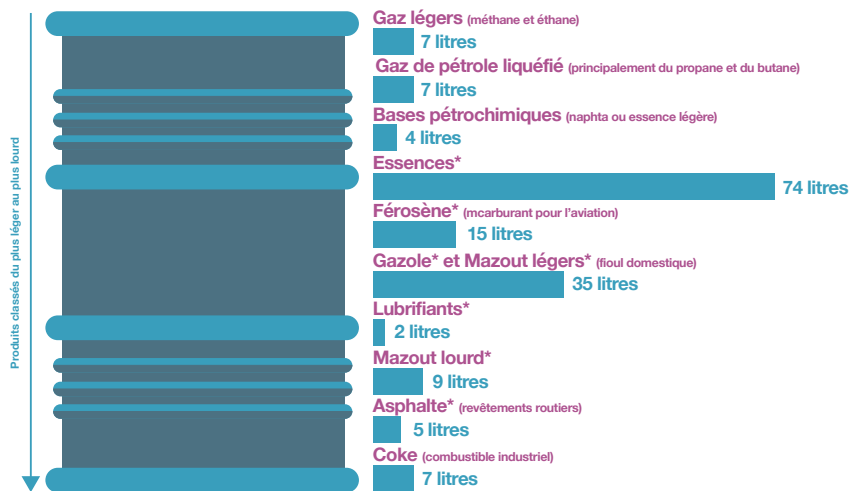
En TWh



Source : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energies-renouvelables-2021/20-biocarburants>

ANNEXE XXI – LES PRODUITS ISSUS D'UN BARIL DE PÉTROLE

Dans une raffinerie, 1 baril de pétrole brut servira à obtenir en moyenne :



* Produits contenant des additifs améliorant leurs performances.

Think tank de l'entreprise agricole, association reconnue d'utilité publique, Agridées est depuis sa création en 1867 un lieu unique de questionnements, de débats et d'expertises qui réunit les acteurs des secteurs agricole, agroalimentaire et agro-industriel.

Apolitique et indépendant, porté par ses valeurs d'humanisme et de progrès, Agridées facilite les rencontres entre personnes de divers horizons et s'appuie sur l'intelligence collective de ce réseau pour faire émerger des idées innovantes et construire de solides collaborations.

Tout au long de l'année, Agridées organise différents formats d'évènements et groupes de travail transversaux destinés à produire des études et des articles au service des décideurs économiques et politiques, et répondre aux défis et attentes sociétales du 21^e siècle.

Marie-Cécile DAMAVE,
Responsable Innovations
et Affaires Internationales à Agridées



Agridées
8 rue d'Athènes 75009 Paris
+33 (0)1 44 53 15 15
contact@agridees.com

www.agridees.com



WAT - wearetogether.fr 2204_03346

Idées Débats
Impacter Influencer
Dialogue
Développement
Défis
Demain Innover
Imaginer

agriDées
RÉFLÉCHIR • PARTAGER • AVANCER