



AGPM
maiz'EUROP

La productivité des systèmes maïsicoles français Une nécessité pour la sécurité alimentaire, un atout pour le programme 4/1000

Un taux de croissance annuel du stock de carbone dans les sols de 4 pour 1000 permettrait de stopper l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. Ce taux de croissance vise à illustrer qu'une augmentation, même infime, du stock de carbone des sols agricoles est un levier majeur pour améliorer la fertilité des sols et la production agricole et participer au respect de l'objectif de long terme de limiter la hausse des températures à 2°C, seuil au-delà duquel les conséquences induites par le changement climatique seraient d'une ampleur significative. La culture de maïs a un rôle majeur à jouer dans l'atteinte de cet objectif.

Tous les scientifiques s'accordent sur le fait que le meilleur moyen de séquestrer du carbone, c'est de produire plus de biomasse et de la restituer au sol. L'intensification de la production de maïs, si sécurisée par un accès facilité à la ressource en eau, est donc une opportunité à plus d'un titre :

- *Elle permet d'augmenter la production par unité de surface et donc de tirer le meilleur parti des terres agricoles disponibles ;*
- *Elle permet de capter une grande quantité de CO₂, en atténuant les effets des GES sur le climat ;*
- *Elle permet d'augmenter la restitution de matière organique au sol et donc sa capacité de séquestration de carbone.*

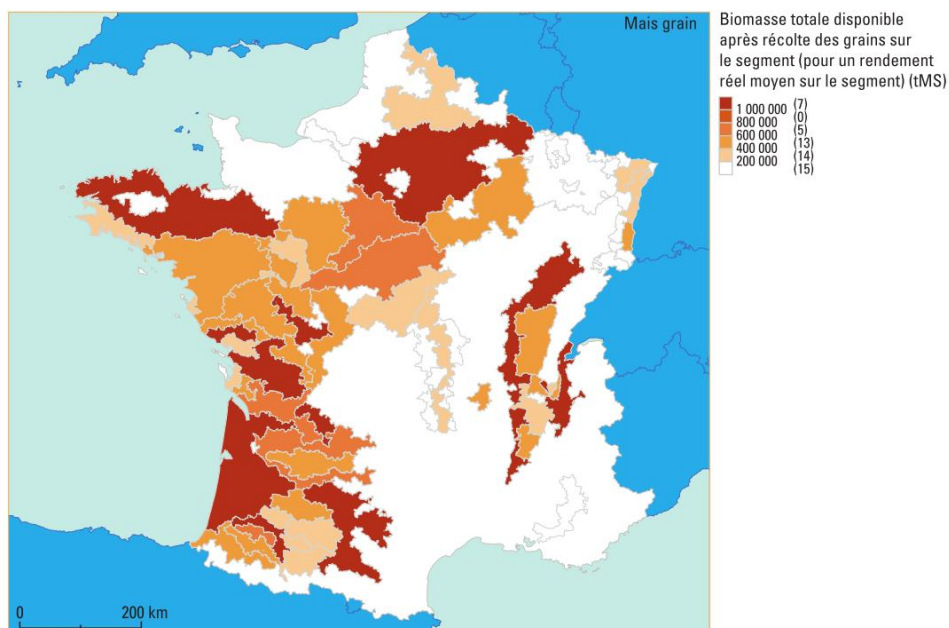
Le maïs, une culture qui protège et enrichit le sol

Le stock de carbone organique présent dans les sols naturels et cultivés est le résultat d'un équilibre dynamique entre les apports de débris végétaux et la perte due à leur décomposition (minéralisation). Il dépend donc de la production annuelle de biomasse (donc du type de couvert), et de la quantité et de la vitesse de décomposition des débris végétaux (donc du climat). Les valeurs de stocks estimées en France dans les premiers 30 cm de sol vont de 20 à 35 t/ha pour les jachères ou les vignobles, 50 t/ha pour les sols cultivés, 60 à 80t/ha pour les prairies et forêts (GIS-Sol, 2014).

Le maïs est une plante produisant une quantité importante de biomasse, dont une bonne partie est restituée au sol. Présente sur le territoire français sur 3,5 Mha, la culture du maïs contribue donc pleinement au stock de Carbone. Le gisement de résidus carbonés séquestrables à partir du maïs en France peut être estimé en moyenne à 15 millions de tonnes par an, répartis comme l'illustre la carte ci-dessous.



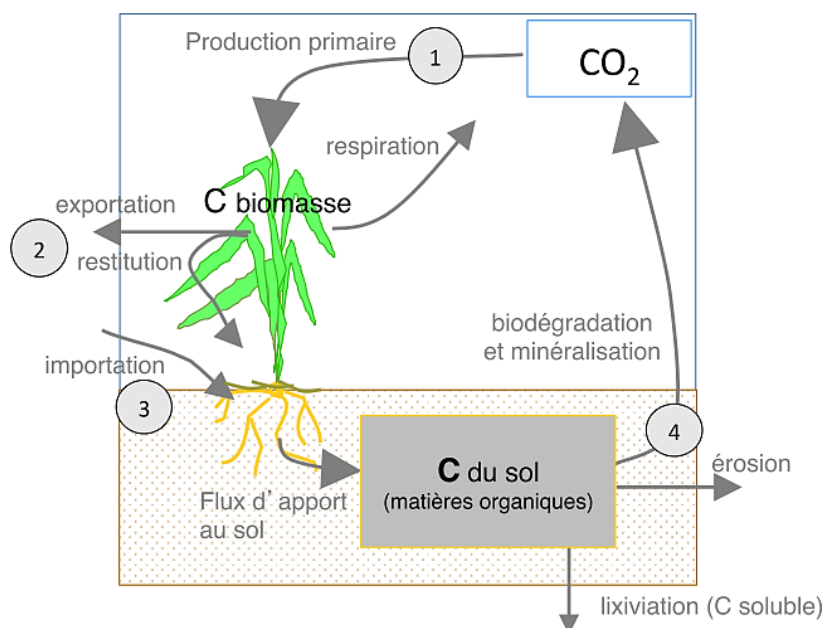
AGPM
maiz'EUROP



Gisement potentiel de Matière Sèche restituable après récolte du maïs grain par zone homogène de production (Arvalis, 2011)

Un stock en augmentation, le maïs agit sur tous les tableaux

Pour augmenter le stock de carbone dans le sol, différents leviers existent : augmenter la production primaire (1), diminuer les exportations et augmenter les restitutions (2), ajouter l'apport de matières organiques exogènes (3), diminuer les pertes par minéralisation (4) (Chenu *et al.*, INRA, Agro Paris Tech, 2014). La culture du maïs est une des rares à pouvoir jouer sur tous les tableaux : augmentation continue des rendements (1), restitution des résidus et mulching (2), taux important de fertilisation organique (3), et enfouissement des matières fertilisantes et des résidus de cultures par travail du sol (4).





AGPM
maiz'EUROP

De nombreuses études concluent que le moyen le plus sûr et le plus efficace d'augmenter le stock de carbone dans le sol est d'abord d'agir sur les apports carbonés, et notamment avec des restitutions qui favorisent l'accumulation d'humus stable capable d'être stocké sur le long terme. **Le maïs grain produit une biomasse élevée : pour une tonne de grain exportée, une tonne de biomasse aérienne est restituée, soit 8 à 15 t/ha/an auxquelles il faut ajouter 5 à 6 tonnes de biomasse racinaire.** Dans la culture du maïs grain, les résidus de culture sont systématiquement restitués au sol, il y a un lien entre le rendement biomasse d'une culture et l'augmentation du stock de carbone organique dans le sol. De plus, les résidus de récolte du maïs sont ligno-cellulosiques, avec un rapport C/N (carbone/azote) élevé, voisin de 50. Ces propriétés favorisent la formation d'humus stable et assurent l'alimentation microbienne nécessaire à la décomposition des résidus. Cela explique que les meilleurs bilans sont obtenus avec les meilleures performances (sols profonds, maïs irrigués) et avec l'intensité du maïs dans l'agrosystème. L'effet de la restitution des résidus de culture du maïs grain sur l'augmentation du stock de carbone du sol est particulièrement net dans les parcelles en monoculture.

Au final, on estime que la plante maïs permet de stocker à long terme dans le sol de 1 tonne à 1,5 tonne de carbone humifié stable par hectare et par an, soit 2,2 tonnes équivalent CO₂ séquestré par hectare et par an.

La transformation de ce gisement en carbone séquestré à long terme dépend aussi de la façon dont les résidus sont traités. Des bonnes pratiques de gestion de ces résidus permettent d'augmenter ce « rendement » comme leur broyage précoce après la récolte et leur incorporation superficielle (mulching). En revanche des travaux récents montrent que le stockage de carbone (et le bilan GES) sont peu affectés par les pratiques de travail du sol, et compte-tenu de la diversité des situations, on s'en tiendra donc aux pratiques les plus adaptées aux conditions locales.

Le rendement du stockage dépend donc d'abord de la biomasse produite, donc de l'intensification de la culture, ainsi que des bonnes pratiques agronomiques associées.

En complément de ces apports importants, des techniques associées et complémentaires peuvent augmenter le coefficient de séquestration. Un couvert semé après la récolte peut apporter 250 kg supplémentaire de carbone humifié sous réserve qu'il se développe suffisamment. Le travail du sol à condition qu'il soit raisonné et pas trop profond permet de concentrer la matière organique tout en la répartissant sur l'ensemble du profil de sol. Cela évite sa minéralisation prématurée en surface et permet un stockage souterrain à portée des racines.

Ces contributions de la culture de maïs au stockage de carbone dans les sols sont indissociables de sa contribution à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre de la lutte contre le changement climatique.

Le maïs, une puissante pompe à CO₂

Stockier du carbone, c'est d'abord en produire par photosynthèse. Les cultures constituent une puissante pompe à CO₂ grâce au mécanisme de la photosynthèse. Elle leur permet de prélever le CO₂ atmosphérique et de le stocker sous forme de carbone organique et de rejeter de l'oxygène dans

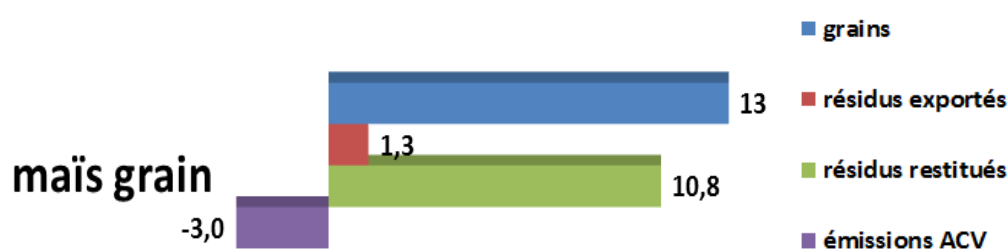


AGPM
maiz'EUROP

l'air. Cette biomasse peut ensuite être exportée du champ (productions agricoles), ou encore stabilisée et stockée dans le sol (humification).

Le maïs, comme le sorgho et la canne à sucre, dispose d'un métabolisme dit en « C4 » qui fixe plus de CO₂ et produit plus de biomasse carbonée à l'hectare que les autres plantes. Elles « économisent » une part importante de l'énergie issue de la photosynthèse, car elles n'ont pas de photo-respiration, ce qui est une forme d'adaptation aux températures élevées.

Le bilan de ce « pompage » dans les conditions françaises pour un rendement maïs de 9.5 t/ha est de 22 tonnes équivalent CO₂/ha/ an dont les termes sont résumés dans le graphique suivant.



Dans les conditions de production françaises, pour un rendement maïs de 9,57 t/ha, l'intensité de la pompe résulte de la soustraction des émissions totales calculées par les ACV (analyses cycle de vie) réalisées par AgriBalyse, l'Ademe et l'Inra directes au champ (-1,5 : carburant et volatilisation) et indirectes (-1,5 : fabrication des engrais...) à la fixation par la biomasse aérienne (grains + résidus) c'est-à-dire un solde net de captation de 22 t équivalent CO₂/ha/an (Arvalis, 2015).

Le maïs, une plante aux multiples débouchés qui permettent de lutter contre les GES

Au-delà des défis qui attendent encore le secteur agricole pour diminuer ses propres émissions de GES, le maïs, au côté des autres Grandes Cultures, contribue aussi à la réduction des émissions des autres secteurs d'activité, comme le démontre ces quelques exemples :

- La production de biocarburants : l'étude publiée par l'ADEME en 2010 sur l'analyse de cycle de vie a confirmé la bonne performance des biocarburants français : de 50 % à 73 % de réduction des gaz à effet de serre en fonction des matières premières. Les biocarburants français permettent d'éviter l'émission d'environ 5 millions de tonnes d'équivalent CO₂ par le secteur des transports.
- Les bioénergies : les Grandes Cultures fournissent des pailles valorisables en énergie ou en biocarburants. Lorsqu'elles sont valorisées en chaleur, le bilan CO₂ est extrêmement favorable car le processus maximise l'effet de pompe à CO₂ des plantes. Les bilans énergétiques et gaz à effet de serre à la parcelle sont toujours largement positifs, de 1 à 10 (voire 15) du point de vue de l'énergie, et de 1 à 4 (voire 6) du point de vue du CO₂.
- La méthanisation : Pour la méthanisation, l'utilisation de biomasse végétale est indispensable en raison de son pouvoir méthanogène bien supérieur à celui des effluents. Elle contribue à substituer des énergies fossiles et à réduire les émissions de GES provenant du gaz naturel. De plus, elle assure la circulation en circuit court des matières fertilisantes, notamment de l'azote organique, et un retour au sol du carbone humifiable.
- La chimie du végétal : les Grandes Cultures sont une source de matière première pour l'amidonnerie, la fermentation, l'oléochimie, permettant de substituer des matériaux ou des



AGPM
maiz'EUROP

produits chimique d'origine fossile, et dans certains de stocker du carbone (matériaux de construction).

Le maïs, une plante au service de la sécurité alimentaire

Le maïs est aujourd'hui la première céréale produite au monde. C'est en effet une ressource de base indispensable pour à l'alimentation animale et humaine. Les producteurs de maïs occupent une place de premier rang dans le maintien de la sécurité alimentaire

Cette culture, de par sa forte capacité de résilience, parvient à maintenir des performances élevées quels que soient les aléas. Trois caractéristiques propres au maïs expliquent cette capacité de résilience :

- les qualités « natives » de la plante elle-même, adaptée à de nombreux climats ;
- le progrès génétique continu permis par une sélection variétale très ancienne et performante
- l'adaptation continue des techniques culturales par les agriculteurs.

Il y a également un lien entre le potentiel de rendement et l'efficacité des intrants. L'efficacité des deux facteurs de production majeurs que sont l'eau et l'azote sont liés dans le cas d'une culture d'été comme le maïs. Des mesures récentes d'efficacité de l'eau apportée par l'irrigation sur le maïs grain (c'est-à-dire le gain supplémentaire de rendement apporté par une quantité d'eau d'irrigation sur une culture pluviale - Arvalis, 2005-2012) montrent qu'elle est de 45 quintaux supplémentaires en moyenne par tranche de 100 mm d'irrigation apportée, avec un maximum de 60 quintaux observé certaines années avec du matériel végétal récent et dans des conditions optimales d'utilisation de l'eau, ce qui en fait la culture la plus performante sur ce critère. A titre de base de comparaison, l'efficacité des céréales à paille est de 25 à 30 quintaux supplémentaires par tranche de 100 mm d'irrigation apportée. Il est donc primordial que les producteurs de maïs puissent sécuriser leur accès à la ressource en eau. En effet, le changement climatique risque de provoquer une augmentation du caractère aléatoire des précipitations, tant en amplitude qu'en intensité, ainsi qu'une banalisation de l'atteinte de températures très élevées au cours de la saison estivale. La réalisation d'ouvrages de stockage de l'eau permettrait donc de mobiliser l'eau lorsqu'elle est abondante (en période hivernale), de la stocker, et de l'utiliser lorsque le milieu ne permet pas de la prélever directement (période estivale).

De la même façon, l'efficacité de l'azote par tonne de grain produite augmente avec le rendement, de 2.2 kg de besoin d'azote par quintal produit à moins de 2 kg pour les rendements supérieurs à 120 quintaux/ha à comparer au blé tendre (2.8 à 3.5 kg/q de grain) ou au blé dur (3.5 à 4.1 kg/q). De plus, le maïs plante d'été, profite de la minéralisation estivale de la matière organique des sols libérant de l'azote qui peut représenter 30 à 60% des besoins en azote de la culture selon les situations.

Le maïs, un atout économique majeur pour la France et ses territoires

L'intensification de la culture du maïs, outre ses vertus environnementales et ses atouts dans la lutte contre le changement climatique, contribue positivement à la durabilité économique des territoires. La France exporte 40 % de son maïs grain vers l'union européenne, générant un excédent commercial de 1,3 milliard d'euros. Elle permet ainsi d'approvisionner l'UE-28 en maïs, cette dernière restant en effet largement déficitaire.



AGPM
maiz'EUROP

La France est également le premier producteur européen et le premier exportateur mondial de maïs semence. Cette production spécifique et à haute valeur ajoutée (3200 producteurs et 23 entreprises) permet de fournir les agriculteurs européens en semences de grande qualité. Ces exportations génèrent un excédent commercial de 483 millions d'euros.

La diversité des maïs (grain, fourrage, doux et semence) ainsi que celle de ses débouchés, en font une culture présente dans de nombreux territoires à travers différents systèmes de production : polyculture élevage, élevage bovin, grandes cultures, cultures spécialisées (doux, pop-corn, semence). La culture du maïs n'est pas associable à un modèle agricole unique mais, au contraire, à toute une diversité en fonction des territoires et des débouchés. En France, le maïs c'est 300 000 emplois directs et induits.

Le maïs participe au maintien du tissu local. En effet, ancrée au sein des territoires, la culture du maïs profite non seulement aux acteurs de la filière mais également aux activités présentes dans les zones de production (commerces de proximité...). Dans les territoires laitiers de Bretagne, de Normandie et des Pays de la Loire, par exemple, le maïs est indispensable à l'économie de la filière lait. Il assure la performance et la rentabilité des troupeaux. En Alsace, les industries semoulières et amidonnières reposent sur une maïsiculture régionale performante. Dans le Sud-Ouest, c'est également le maïs qui a permis le développement de filières agroalimentaires de renom telles que le foie gras, les volailles label rouge et différentes appellations de produits charcutiers (comme le jambon de Bayonne). Au niveau français, on considère que la filière maïs génère 300 000 emplois directs et induits.

Le maïs, un potentiel libéré par les avancées de la recherche

Le potentiel naturel, mais surtout l'effet de « boost » de l'hybridation appelé hétérosis, permis par la variabilité génétique du maïs, explique ses performances. L'efficacité économique du modèle de semences hybrides est à la base de la création d'une recherche privée puissante. Enfin, l'aptitude du maïs à valoriser les ressources des biotechnologies explique que le progrès génétique du maïs n'a cessé de progresser.

Les investissements tant privés que publics pour l'amélioration variétale du maïs portent aujourd'hui massivement sur les capacités de résilience aux stress climatiques (stress hydrique surtout, tolérance au froid). Ils devraient permettre, à la condition que les facteurs de production soient suffisants, la poursuite de la progression des rendements à un rythme de plus de 1% par an dans les agricultures développées et un élargissement de son aire de culture à tous les climats. Pour les agricultures des pays en voie de développement, dont les rendements sont encore faibles, les gains attendus sont de 30% !

Le potentiel maximum du maïs observé en culture aujourd'hui est supérieur à 230 quintaux à l'hectare, laissant espérer une grande marge de progression.

Conclusion

L'agriculture doit répondre au double défi alimentaire et de lutte contre changement climatique. Dans ce cadre, la croissance de la production sera nécessaire pour répondre à la demande, mais les agriculteurs doivent également entreprendre des actions liées à l'adaptation au changement



AGPM
maiz'EUROP

climatique, à la conservation et l'augmentation de la fertilité des sols. Ils doivent également avoir un accès facilité aux différents facteurs de production.

Dans ce cadre, le programme 4/1000 est un excellent levier pour protéger la fertilité des sols en stimulant la séquestration de carbone dans les sols sous forme de matière organique, un des facteurs de la fertilité des sols. Le maïs et la maïsiculture, ont des atouts pour contribuer à cette ambition grâce à son potentiel de production, et sa plasticité dans les systèmes de culture. Les producteurs de maïs s'engagent donc à :

- **Mettre en œuvre toutes les techniques permettant de transformer de manière optimale la biomasse restituée au sol en carbone stable.**
- **Promouvoir toutes les stratégies et les techniques favorisant la séquestration de carbone dans les sols.**

Chiffres clé

- **15 millions de tonnes** par an : c'est le gisement moyen de résidus carbonés séquestrables à partir du maïs en France
- **22 tonnes équivalent CO₂** : c'est la quantité captée chaque année par un hectare de maïs
- **2,2 tonnes équivalent CO₂** : c'est la quantité séquestrée chaque année par un hectare de maïs
- **5 millions de tonnes équivalent CO₂** : c'est la quantité annuelle d'émissions évitée par le secteur des transports en utilisant des biocarburants français.
- **4,5 tonnes** : c'est le gain de rendement d'un hectare de maïs permis par un apport de 100 mm d'eau
- **300 000 emplois** : le nombre d'emplois directs et induits générés par la filière maïs française