

Quelles émissions directes de gaz à effet de serre pour l'agriculture en 2050 ?

Des émissions de GES majoritairement issues de processus biologiques inhérents à la production agricole

Les **émissions directes** de l'agriculture représentent environ 20 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) nationales en 2020.

- **La combustion d'énergie fossile ne représente que 10 % des émissions du secteur**, principalement pour le fonctionnement du matériel agricole.
- **Plus de 40 % des émissions sont liées à la seule digestion des ruminants**, et en particulier des élevages de bovins qui **éructent du méthane** (CH₄) lors de leur digestion.
- **La fertilisation des sols à partir d'engrais azoté représente 30 % des émissions du secteur**. L'épandage d'azote stimule **l'activité de micro-organismes du sol transformant l'azote épandues en protoxyde d'azote** (N₂O) un puissant gaz à effet de serre.
- Les émissions de lessivage et les autres émissions des sols associés aux pratiques culturales et le stockage des effluents d'élevage représentent le reste des émissions agricoles.

L'écrasante majorité des émissions de l'agriculture étant inhérentes à la fertilisation et à l'élevage, il n'est pas possible de réduire à zéro les émissions du secteur agricole.

La réduction de ses émissions directes n'est pas la seule contribution de l'agriculture à l'atténuation des émissions. Le stockage de carbone dans les sols (voir la fiche « Pratiques stockantes dans l'agriculture ») ou encore la production de matériaux renouvelables et de bioénergie (voir la fiche « Usages de la biomasse ») pour réduire les émissions d'autres secteurs joueront un rôle déterminant.

L'évolution des émissions de GES de l'agriculture résulte des objectifs donnés au système agricole en matière de satisfaction des besoins alimentaires, de production de biomatériaux et d'énergie ou encore de préservation de biodiversité et de stockage de carbone dans les sols (voir fiche « Système agricole en 2050 »)

Ces objectifs peuvent mener à des pratiques agricoles et des orientations contradictoires, ils doivent impérativement être fixés de manière cohérente.

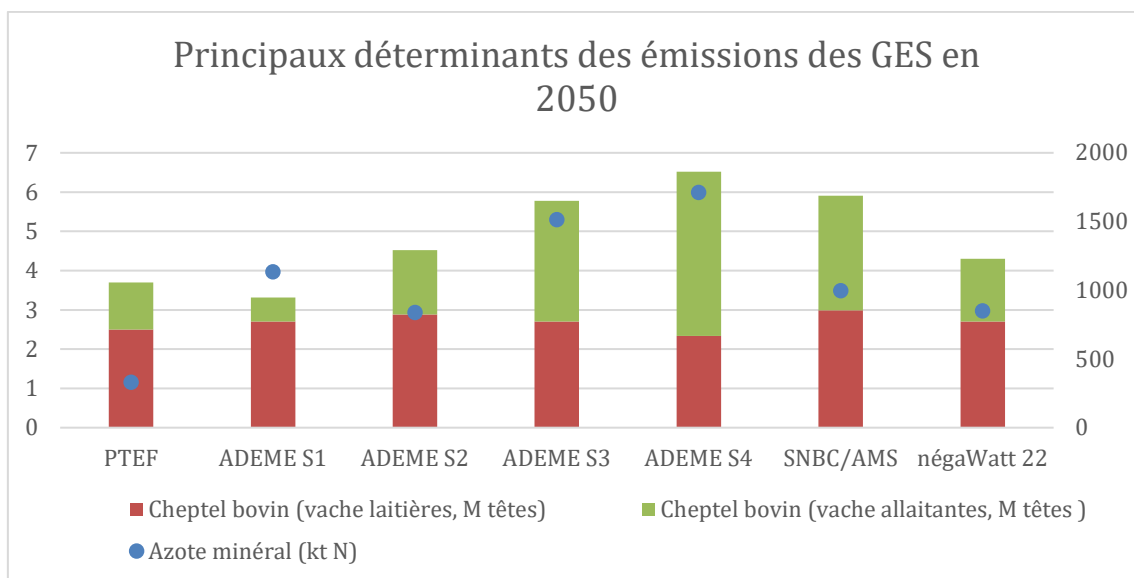
Une réduction des émissions dépendantes orientations en matière d'élevage bovins et de pratiques agricole à bas-intrants

Dans tous les scénarios, le secteur agricole réduit significativement ses émissions de GES, de l'ordre 30 % pour le scénario S4 de l'ADEME et la SNBC3, jusqu'à 60 % pour les scénarios PTEF et S1 de l'ADEME. Pour autant ce secteur demeure plus difficile à décarboner en raison des émissions d'origine biologique inhérent à la production et **l'agriculture devient le premier secteur émetteur de GES en 2050 dans l'ensemble des scénarios**. Ce sont essentiellement le niveau de réduction du cheptel bovin et de réduction de recours en engrais azotés qui expliquent ces différences d'émissions.

La digestion des ruminants reste, malgré une diminution dans l'ensemble des scénarios la principale source d'émissions de GES de l'agriculture en 2050. Cette réduction est proportionnelle à celle du cheptel bovin, à l'origine de la majorité des émissions. Le cheptel bovin diminue dans l'ensemble des scénarios. Hormis le scénario S4 de l'ADEME, tous les scénarios s'accordent sur une réduction plus importante du cheptel dédié à la production de viande que de celui dédié à la production de lait. **Les scénarios s'accordent sur une réduction modérée du nombre de vaches laitières** entre 2,5 millions (PTEF, -28 %) et 3 millions de tête (SNBC3, -15 %) contre 3,5 millions en 2020, limitant la baisse tendancielle du cheptel. **Sur les vaches à viandes les visions sont beaucoup plus contrastées avec une division allant de 1 à 6 du nombre de vaches à viande selon les scénarios**. Le nombre de vaches allaitantes atteint un minimum de 0,6 millions de têtes dans le S1 (-85 %) avec des conséquences drastiques en matière de régime alimentaire (voir fiche « Régime alimentaire »), à 3 millions de têtes dans le S3 et la SNBC3 (-25 %) contre 4 millions en 2020. Le scénario S4 propose même d'augmenter le nombre de vache à viande (+2%).

La réduction du cheptel entraîne une réduction proportionnelle des émissions de GES des effluents d'élevage, à laquelle s'ajoute selon les scénarios une réduction supplémentaire liée à la valorisation des déjections pour la production de biogaz.

L'épandage d'engrais azoté demeure le deuxième poste d'émissions de GES en 2050, sa réduction est un enjeu pour l'ensemble des scénarios. La réduction de ces émissions dépend de la quantité d'azote minéral épandue sur les sols, corollaire au développement de **pratiques agricoles à bas niveau d'intrants**. Hormis la SNBC3 et le S4 de l'ADEME, tous les scénarios adoptent les principes de l'agroécologie comme standards (100 % des terres dans le S1, S2 et le PTEF, 90% dans nW22, 70% dans le S3), réduisant le niveau d'intrants (voir fiche « réduction de l'usage des engrais azoté »).



Les émissions associées à la consommation d'énergie diminuent drastiquement (d'un facteur 6 et jusqu'à 100% dans le PTEF) par un large recours aux biocarburants dans l'agriculture, complété à des degrés divers par des changements de pratiques (chauffage des serres, recours aux tracteurs, etc.) et à des progrès techniques.

Les scénarios qui conservent un important cheptel de bovins et un fort recours aux engrais de synthèse pour fertiliser les cultures conservent des émissions de GES importantes et n'atteignent pas la division par un facteur deux fixé dans la SNBC 2. Ces scénarios sont contraints de développer les puits de carbone technologique pour compenser leurs émissions de GES et atteindre la neutralité carbone (voir fiche « puits de carbone »)

Quelle sera le niveau des puits de carbone en France en 2050 ?

Compenser les émissions de GES pour atteindre la neutralité carbone

Les écosystèmes, unique puits de carbone aujourd'hui

Un écosystème donné peut être un puits de carbone atmosphérique et ce, durant un certain laps de temps quand il absorbe plus de carbone qu'il n'en libère. Un écosystème est considéré comme un puits lorsque son stock de carbone augmente, c'est-à-dire lorsqu'il séquestre du carbone. Pour grandir, un arbre capte du carbone dans l'atmosphère sous l'action du rayonnement solaire (photosynthèse). Une forêt en croissance est appelée puits de carbone, car elle capte davantage de carbone qu'elle n'en émet. En modifiant les pratiques agricoles, les sols peuvent eux aussi devenir des puits de carbone. Par exemple, l'agriculture de conservation des sols, qui repose sur la présence de couverts végétaux, la réduction du travail du sol, et l'allongement des rotations permet de stocker davantage de carbone dans le sol.

La séquestration du CO₂ peut être réalisée par des technologies de captage et de stockage (CCS) dans des formations géologiques. Cela requiert cependant la mise en place de technologies de captage de CO₂, de transport et d'injection dans le sous-sol pour séparer physiquement le CO₂ de l'atmosphère. Aujourd'hui le puits de carbone français est exclusivement d'origine naturel et s'élève à 17 MtCO₂eq/an en 2021, cela représente l'équivalent de 4 % de nos émissions de GES.

Développer les puits pour faciliter l'atteinte de la neutralité carbone : un défi

Le niveau attendu des puits de carbone en 2050 fixe l'effort de décarbonation en vertu de l'objectif de neutralité carbone, soit l'atteinte d'une équivalence entre le niveau d'émission de GES et le niveau de captation du carbone par les écosystèmes ou les puits technologiques. Le puits de carbone naturel est le solde entre la capacité de captation des écosystèmes et les émissions de GES associées à la destruction d'écosystèmes comme [l'artificialisation des terres](#).

Maintenir ou développer des puits de carbone constitue un défi. Pour un puits de carbone naturel, il s'agit d'adapter les modalités d'interventions humaines sur les écosystèmes pour maximiser le stockage de carbone au dépend d'autres variables (comme le rendement), et donc de transformer l'économie des filières associées. Les principaux puits de carbone naturels sur lesquels nos pratiques ont un impact sont les forêts et les sols agricoles.

La séquestration de CO₂ peut être réalisée par des technologies de captage et de stockage (CCS). Ces technologies visent généralement à capturer les émissions liées à la combustion d'énergie fossiles ou de process industriels. Lorsqu'elles visent à capter les émissions liées à la combustion de biomasse, on privilégiera le terme de BECCS (bioenergy with carbon capture and storage). Lorsqu'il s'agit de capturer directement le CO₂ présent dans l'atmosphère, on parlera de DACCS (direct air carbon capture and storage). Les puits technologiques représentent quant à eux des défis en matière d'innovation, mais aussi en investissements et en coûts de fonctionnement alors qu'ils n'ont pas de rentabilité intrinsèque.

Des puits visés fruit d'arbitrages structurants sur les secteurs dépendants des écosystèmes

Dans tous les scénarios, le puits de carbone en 2050 est supérieur à son niveau de 2021.

Le scénario atteignant la neutralité carbone avec le plus faible puits est celui de négaWatt avec 63 MtCO₂eq/an, à l'opposé le scénario de neutralité avec le puits le plus important est le scénario S4 de l'ADEME avec 133 MtCO₂eq/an. Ce puits de carbone correspond en miroir aux niveaux d'émissions de ces scénarios, leur permettant d'atteindre la neutralité carbone en 2050, autrement dit, plus un scénario émet d'émissions de GES en 2050, plus son puits de carbone doit être important.

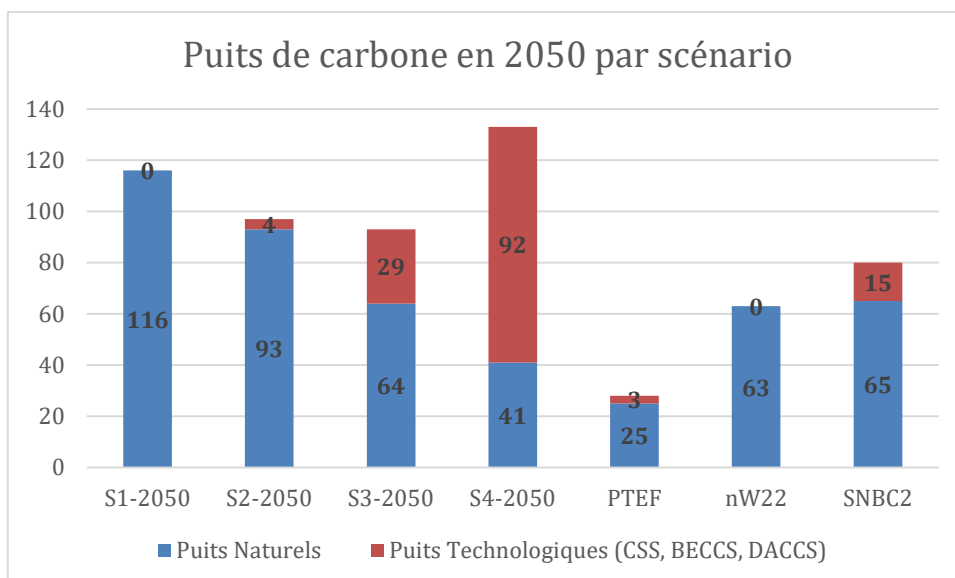
Les scénarios se distinguent par des niveaux absolus de puits naturels très contrastés à l'horizon 2050, allant de 116 MtCO₂eq/an pour le scénario S1 de l'ADEME qui promeut le plus leur développement à 25 MtCO₂eq/an pour le scénario PTEF ayant les hypothèses les plus réservés et qui n'atteint pas la neutralité carbone.

La forêt reste le premier déterminant du puits de carbone naturel quel que soit le scénario.

Le puits de carbone forestier varie du simple au triple entre les scénarios extrêmes (S1 à 89 MtCO₂eq/an et S4 à 30 MtCO₂eq/an). Le puits de carbone forestier reste stable ou baisse légèrement dans la majorité des scénarios (SNBC2, PTEF, S2 et nW22), mais chute de près de moitié dans les scénarios S3 et S4 de l'ADEME. Cette différence est d'abord liée à l'intensité de la récolte de bois en forêt, surtout lié à la production de bioénergie. La récolte de bois s'élève à 71 Mm³/an dans S4 contre 52 Mm³/an dans S1. Le deuxième facteur différenciant tient à l'affectation des terres. Dans tous les scénarios la surface forestière s'étend, mais rares sont les scénarios qui font l'objet de politiques actives d'afforestation (S1 et négaWatt), la forêt passant dans ces scénarios de 17 Mha en 2020 à 20 Mha en 2050.

Réduire l'artificialisation permet de limiter les émissions de GES au changement d'affectation des terres est d'améliorer le solde des puits de carbone. Hormis le scénario S4 de l'ADEME et le PTEF, tous les scénarios prennent en compte une réduction importante de l'artificialisation des sols. L'arrêt de l'artificialisation nette des sols représente un gisement de réduction des émissions d'environ 10 MtCO₂eq/an.

Le développement de pratiques agricoles « stockantes » représente le potentiel d'accroissement du puits de carbone naturel le plus important. Les évolutions des pratiques agricoles sont très contrastées d'un scénario à l'autre. Tous les autres scénarios misent à des niveaux variables sur le développement des pratiques « stockantes » (sauf le PTEF qui ne mise pas dessus en vertu d'une posture prudentielle qui met en avant l'incertitude quant à la durabilité de ces puits de carbone agricole). L'accroissement du puits de carbone associé aux pratiques « stockantes » atteint près de 28 MtCO₂eq dans le scénario le plus ambitieux (S2). Le développement des haies et de l'agroforesterie représente le levier le plus important (jusqu'à 14 MtCO₂eq dans S2), suivi par le développement des couverts en grande culture (jusqu'à 8 MtCO₂eq dans S2). Le retour à la terre des végétaux pour favoriser le puits de carbone limite en contrepartie la biomasse disponible pour d'autres usages, comme les bioénergies (biocarburant et biométhane) dans le scénario S2 de l'ADEME par exemple.



Les puits de carbone naturels sont les puits exclusifs dans les scénarios S1 de l'ADEME et nW22 et représente une part écrasante du puits pour les scénarios S2 et PTEF. Le scénario SNBC2 et S3 développent les puits technologiques en proportion conséquente quoique minoritaire (respectivement 19 % et 31 % du puits total). Seul le scénario S4 de l'ADEME mise majoritairement sur les puits technologiques (69 % du puits total). Le seul puit technologique y est supérieur ou équivalent au puits total de tous les autres scénarios (hors du S1 de l'ADEME).

Pour S2 et le PTEF, il s'agit de développer la CCS dans l'industrie (là où la technologie est aujourd'hui mature), à hauteur de 3 MtCO₂e/an en 2050. Dans S3 et S4, la CCS se généralise dans l'industrie. Pour S4, elle vient aussi compenser les impacts climat des importations significatives de gaz naturel d'origine fossile nécessaires pour répondre à la demande.

Si S2 n'exclut pas un développement de la BECCS sur quelques sites industriels, c'est dans les scénarios S3 et S4 qu'elle s'affirme en raison du développement des bioraffineries et des chaudières biomasse, ou en complément de la CCS sur les sites industriels.

Le scénario S4 est le seul à parier sur le DACCS (27 MtCO₂eq/an), supposé opérationnel et économiquement supportable, en dépit d'une consommation énergétique dédiée représentant la production annuelle de plus de 3 EPR (40 TWh/an).

Quelle mobilisation de biomasse à horizon 2050 ?

La biomasse : ressource d'hier, d'aujourd'hui et de demain

La biomasse, une ressource renouvelable et bas-carbone

La **biomasse** non-alimentaire désigne l'ensemble des matières organiques (végétales comme animales) utilisées pour le fonctionnement de l'économie hormis l'alimentation.

Il existe trois principaux gisements de biomasse non-alimentaire : la production agricole (production dédiée ou résidus de production alimentaire), la production sylvicole (bois) et les déchets organiques (biodéchets).

Au contraire des énergies fossiles et des ressources géologiques, la biomasse peut se renouveler à une échelle de temps humaine, avec des cycles plus ou moins longs (cultures annuelles, forêts). Le carbone émis par la combustion ou la décomposition de la biomasse d'origine agricole ou forestière agit de la même façon sur l'effet de serre que le CO₂ issu des énergies fossiles. A condition que la ressource face l'objet d'une gestion durable assurant sa reconstitution, on considère la combustion de biomasse comme neutre en carbone (s'y ajoute toutefois des émissions indirectes liées à l'exploitation de la biomasse). L'exploitation de cette biomasse implique aussi des impacts sur la biodiversité, dont il est nécessaire de tenir compte pour garantir sa renouvelabilité. A cette condition, la biomasse peut être considérée comme une ressource renouvelable et bas-carbone.

Un fondement des scénarios de transition énergétique

Les utilisations de la biomasse permettent d'éviter ou de réduire les émissions de gaz à effet de serre en remplaçant des matériaux non renouvelables plus émetteurs de GES (acier, ciment, etc.), ou en substitution des énergies fossiles, que ce soit sous forme de combustible solide, de biocarburant, ou de **biogaz** (voir fiche « Usage de la biomasse »).

La mobilisation de biomasse doit viser à maintenir un équilibre entre ses usages alimentaires et non-alimentaires et la préservation des fonctions écologiques, comme la biodiversité et le stockage de carbone grâce à une approche globale.

Arbitrer sur l'usage d'une ressource à la confluence des enjeux

Dans l'ensemble des scénarios de transition énergétique, la mobilisation de biomasse pour des usages non-alimentaires augmente significativement. Elle fait plus que doubler dans les quatre scénarios, pourtant contrastés, de l'ADEME. La quantité de biomasse disponible restera limitée par les surfaces agricoles et forestières dédiées à sa production.

L'importance escomptée du puits de carbone naturel que représentent les écosystèmes forestiers dans l'atteinte de la neutralité carbone structure les choix en matière de biomasse. Les scénarios misent soit sur une augmentation des prélèvements de bois en forêt à horizon 2050, soit sur une stabilité des prélèvements. Les premiers misent fortement sur la production d'énergie avec des technologies de captation et stockage du carbone (S3, S4). Les autres scénarios (S1, nW, TSP) s'appuient davantage sur le puits de carbone forestiers pour atteindre la neutralité carbone et doivent donc composer avec moins de biomasse forestière pour décarboner. A l'interface des activités agricoles, le développement des haies et des cultures lignocellulosiques apporte un complément significatif à l'exploitation forestière dans plusieurs scénarios (nW, S1, S2, S3).

L'évolution du système agricole représente le plus fort levier de croissance de biomasse disponible pour des usages non-alimentaires. La quantité de biomasse végétale non-alimentaire d'origine agricole est multipliée par quatre (TSP) ou cinq au moins dans la totalité des scénarios. Les scénarios s'accordent sur le recours aux **cultures intermédiaires à vocation énergétique** et une meilleure valorisation des résidus de culture comme deux principales sources de biomasse agricole.

Les scénarios divergent dans l'ampleur de la transition agroécologique menée, en reconnaissant une baisse des rendements liée au passage à bas intrants. **La production agricole, et donc la biomasse disponible, est d'autant plus faible à surface équivalente que le scénario effectue une transition agroécologique d'ampleur.** La **surface agricole utile** (SAU) varie entre les scénarios, témoignant d'une déprise plus ou moins grandes des terres agricoles au profit de la forêt et des espaces naturels, elle atteint un maximum de 27,7 Mha dans le scénario S2 de l'ADEME et un minimum de 25,7 dans le scénario S1 contre 28,6 Mha en 2020.

L'enjeu de limiter les conflits d'usage dans l'agriculture entre production énergétique et alimentaire conduit tous les scénarios à limiter le recours aux cultures dédiés. Les scénarios les plus ambitieux (S1 et S3) dédie 1,6 Mha, soit 6 % de leur SAU à la production de biocarburants. Pour le biogaz, seuls les scénario S3 et S4 de l'Ademe envisagent le développement de cultures dédiées.

L'évolution de l'alimentation, en particulier **la réduction de la consommation de viande, permet d'augmenter le potentiel de biomasse disponible pour les usages**

non-alimentaires en libérant de la biomasse aujourd'hui destiné à la production animale. Cette réduction de la production animale permet au scénario qui favorise les puits de carbone et un faible niveau d'intrants de maintenir une production en hausse de biomasse non-alimentaire.

Etant donné les politiques visant leur réduction (voir fiche « déchets »), **les déchets apporteront dans tous les scénarios une contribution minoritaire** et à terme déclinante à l'approvisionnement en biomasse.

Dans la totalité des scénarios, le changement climatique (voir fiche « Changement climatique et agriculture ») **et ses effets sont insuffisamment pris en compte.** En toute vraisemblance, la production biologique des écosystèmes, en particulier forestiers, sera restreinte par le changement climatique et donc la quantité de biomasse disponible. La moindre disponibilité poussera à une plus grande électrification, à la recherche d'une plus grande efficacité énergétique ou à davantage d'effort de sobriété.

Les carburants à base d'algues nécessitent encore une rupture technologique pour assurer leur développement. Même en la supposant, le scénario le plus ambitieux estime son gisement comme quatre fois inférieur aux seuls résidus de cultures, n'en faisant pas un élément de bascule.

La TEF va-t-elle dégrader le solde exportateur agroalimentaire française ?

Tous les scénarios de transition réduisent l'ampleur des postes exportateurs sur ces postes tout en réduisant leur dépendance aux importations. Les scénarios qui supposent une baisse de la consommation de viande et cherchent à relocaliser les productions réduisent plus fortement leur dépendance aux importations. Par ailleurs, seuls ces derniers parviennent à réduire significativement la déforestation importée. Le solde excédentaire de céréales reste important dans tous les scénarios, permettant à la France de jouer un rôle dans la sécurité alimentaire mondiale.

Le solde exportateur agroalimentaire à la confluence de multiples enjeux

Le solde exportateur agroalimentaire représente la différence entre la production agricole sur le territoire national et la demande intérieure, il est exprimé en volume physique et non en monétaire.

Depuis 2000, l'excédent agroalimentaire se maintient, avec des tendances à la hausse aussi bien pour les importations que pour les exportations. Les principales exportations concernent les céréales, le lait en poudre et les boissons alcoolisées. Les principaux déficits commerciaux portent sur les protéines pour l'alimentation animale et sur les fruits et légumes.

Tous les scénarios de transition prennent en compte l'enjeu des importations et exportations agroalimentaires. Associées aux hypothèses d'évolution des régimes alimentaires, les hypothèses d'imports et d'exports définissent la demande alimentaire à laquelle le système agricole doit répondre.

Le solde exportateur dans le secteur agroalimentaire est à la croisée de plusieurs autres enjeux auxquels les scénarios donnent une importance variable :

- **Le renforcement de l'autonomie alimentaire** par la limitation de la dépendance de notre système alimentaire aux importations ;
- **Le niveau de contribution de la France à la sécurité alimentaire mondiale** via le maintien d'exportations ;
- **La limitation de la « déforestation importée »** dans l'optique de réduire notre impact écologique au-delà du périmètre du territoire national ;

Un solde exportateur excédentaire maintenu malgré des approches diverses

La France tend à maintenir ou renforcer son solde exportateur excédentaire dans tous les scénarios. De façon générale, les productions actuellement excédentaires le restent en 2050. Les productions déficitaires le restent également, mais l'ampleur des déficits est réduite.

Côté excédents, si les exportations de céréales sont réduites dans presque tous les scénarios (sauf S4 où elle augmente légèrement) sous l'effet de la baisse des rendements et/ou des surfaces dédiées, les céréales demeurent le principale poste excédentaire de l'agriculture. **Même les scénarios où la production de céréales baisse en raison de la réduction des rendements associée au développement des pratiques agroécologiques** (voir fiche « pratiques agricoles ») **maintiennent un solde exportateur excédentaire important grâce à la baisse de la demande de céréales pour l'alimentation animale.** Le solde exportateur du lait est divisé par deux ou plus dans la plupart des scénarios, en lien avec la baisse du cheptel de bovin lait, l'évolution de la production de lait par vache et l'évolution de la consommation nationale (atteint une division par 5 dans S2, mais maintenu dans Afterres 2050). Le solde exportateur de boissons alcooliques est lui aussi fortement réduit, hormis dans la SNBC où il est augmenté de 60 %. Le solde exportateur de viande reste à peu près à l'équilibre, il s'améliore légèrement sur l'ensemble des postes dans la plupart des scénarios.

Côté déficits, tous les scénarios induisent une réduction des importations de fruits et légumes. Le poste reste déficitaire dans l'ensemble des scénarios mais dans des niveaux contrastés. Cette réduction va d'une quinzaine de point (S4 de l'ADEME) à 85-90 % (TSP, S1) dans les scénarios proactifs en matière de relocalisation et de diversification. Sur les protéines pour l'alimentation animale, une ligne de partage se dessine entre les scénarios qui réduisent fortement l'élevage et éliminent ainsi leur déficit (S1, S2, nW, TSP) et les autres pour qui le déficit, bien que moindre, reste important.

Dans tous les scénarios, la France demeure une grande nation exportatrice de céréales, lui permettant de fait de jouer un rôle dans la sécurité alimentaire mondiale. Les scénarios qui mentionnent cette contribution comme un objectif explicite (nW, TSP) visent à maintenir les exportations de céréales à destination de pays de l'espace méditerranéen et sahéliens dont le déficit de production est structurel.

Les scénarios qui réduisent la déforestation importée (S1, nW, TSP) s'appuient sur la baisse de la demande interne en viande, limitant les importations de viande et de nourriture pour animale issues de la déforestation. La production d'oléo-protéagineux en Europe et la baisse de la demande en café et cacao y apportent aussi une contribution. Au-delà de l'alimentation, la réduction des importations de bioénergie contribue à la réduction de la déforestation importée.

Le solde exportateur propose un bilan par poste agroalimentaire qui ne rend pas compte des niveaux réels d'exposition de la France aux commerces internationales : un poste déficitaire au total pourrait ainsi recouvrir un niveau important d'exportations, mais un niveau supérieur d'importations. Il permet d'éclairer le niveau d'autonomie alimentaire atteint dans les scénarios, sans en rendre pleinement compte (la dépendance aux intrants importés par exemple n'est pas prise en compte). En tant qu'indicateur physique, ce solde est muet sur le bilan commercial des échanges internationaux.

La TEF va-t-elle nous permettre de nous passer des engrais de synthèse ?

Déterminant pour la productivité agricole, l'apport d'azote aux cultures est aujourd'hui majoritairement le résultat d'épandage d'engrais de synthèse. L'épandage d'azote est fortement émetteur de GES et atteint des niveaux délétères pour les écosystèmes et la santé humaine. Aucun scénario ne parvient à se passer totalement d'azote de synthèse, mais tous anticipent une réduction de la consommation d'engrais azotés de synthèse (une réduction comprise entre 10 et 85 %). Tous les scénarios prévoient en compensation une augmentation de la quantité d'azote d'origine organique (obtenu par fixation symbiotique et recyclage des nutriments), qui devient majoritaire dans la plupart des scénarios.

L'azote de synthèse à l'origine d'une révolution agricole et de nombreuses pollutions

L'azote est, en volume, le principal engrais utilisé en agriculture. L'augmentation de sa disponibilité a été l'une des sources majeures de la hausse des rendements agricoles au XXe siècle. L'azote est présent partout dans l'atmosphère mais les plantes ne peuvent s'en nourrir que sous sa forme dite « minérale ». Il existe deux voies pour augmenter la quantité d'azote minéral dans le système agricole : d'une part, l'intégration dans les **rotations de légumineuses capables de fixer l'azote de l'air** grâce à une symbiose avec une bactérie, d'autre part, l'épandage **d'engrais de synthèse obtenu par transformation de diazote de l'air en engrais minéral**. L'élevage, l'épandage d'effluent ou le compostage ne permettent pas de créer de l'azote minéral supplémentaire, mais de le transférer d'une parcelle à une autre, avec des pertes inhérentes aux processus biologiques de l'assimilation de cet azote par la vie des sols.

Les livraisons d'engrais minéraux sont relativement stables ces dernières années et représentent l'essentiel des apports d'azote aux cultures. **L'épandage annuel de plus de 2000 kt d'azote de synthèse pour assurer les rendements agricoles a pour contrepartie l'émission de protoxyde d'azote** (ou N₂O). (infobulle) un puissant gaz à effet de serre qui représente près de 40 % des émissions de l'agriculture (voire fiche « GES de l'agriculture en 2050 »). L'épandage d'azote entraîne également une pollution de l'eau et de l'air importante qui affecte directement les écosystèmes et la santé humaine. Enfin, la production d'engrais azotés (voir fiche « industrie chimique ») est aujourd'hui dépendante des énergies fossiles et est fortement émettrice de GES.

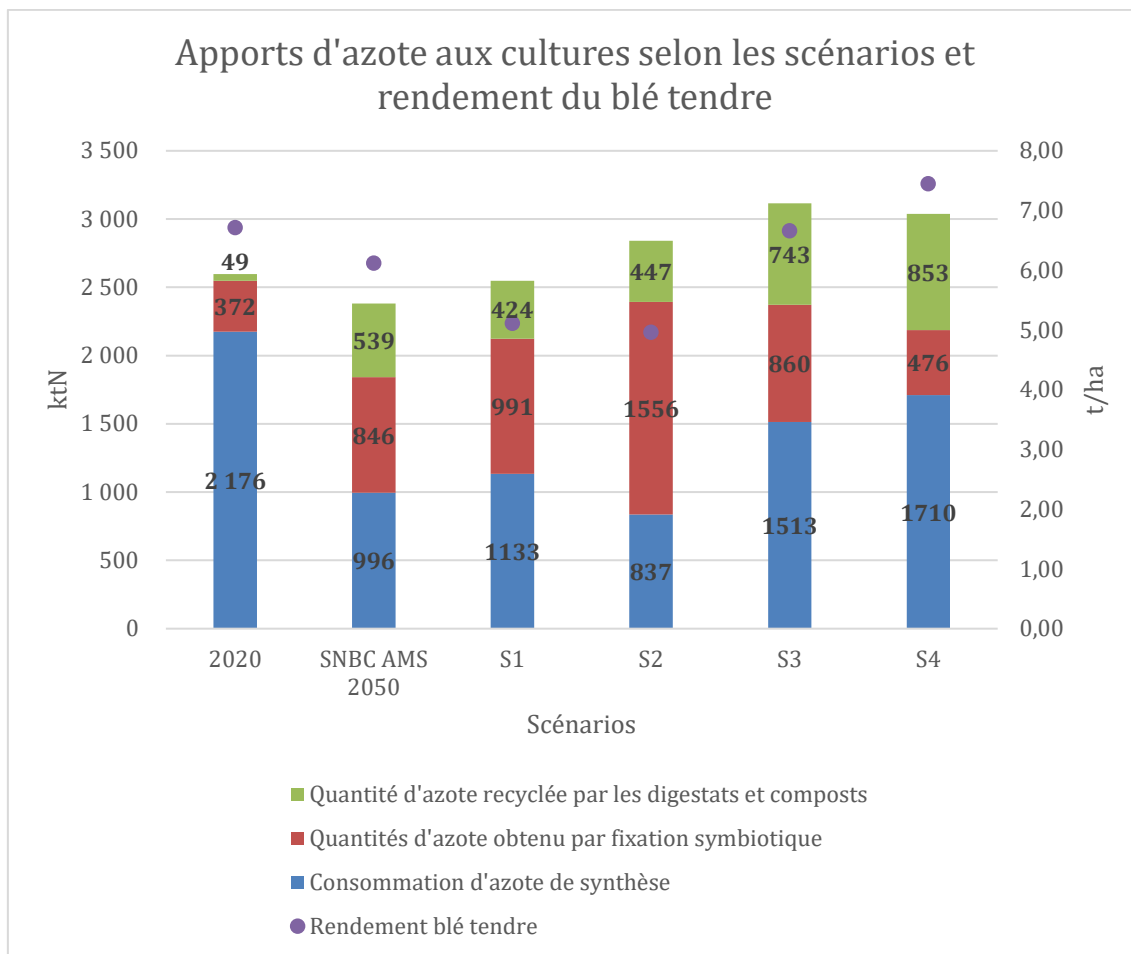
La réduction des pertes d'azote au cours de son cycle est un levier important de réduction de l'épandage d'engrais de synthèse, mais insuffisant. En dernière analyse, **soit on maintient de l'azote de synthèse en en décarbonant la production, soit on le remplace par de l'azote d'origine symbiotique, soit on réduit la production du système agricole, avec bien entendu des combinaisons entre ces solutions.**

L'azote organique, et le recyclage de l'azote, à la rescousse pour réduire l'épandage d'azote de synthèse

Dans tous les scénarios la quantité d'azote apporté aux cultures augmente (S2, S3, S4, Afterres2050) ou reste stable (S1), sauf dans la SNBC3 où elle baisse légèrement. Pour pourvoir au besoin en azote, **tous les scénarios anticipent une augmentation de la quantité et de la part d'azote d'origine organique,** c'est-à-dire issu de la fixation symbiotique et du recyclage des nutriments.

La plupart des scénarios anticipent un doublement (SNBC3, S3, S1) voire un triplement (S2, nW22) de la quantité d'azote obtenue par fixation symbiotique. Ces scénarios ont en commun de promouvoir activement le développement de pratiques agricoles s'appuyant sur les principes de l'agroécologie (voir fiche « pratique agricole ») sur 50 % (SNBC3), 70% (S3), voire 100 % (TSP, S1, nW22, S2) des surfaces agricoles. Le seul scénario (le scénario S4 de l'ADEME) où la part d'azote organique reste minoritaire est aussi le seul où l'agriculture conventionnelle reste prépondérante, avec un niveau de fixation symbiotique à peine plus élevé qu'aujourd'hui

La quantité d'azote recyclée via le compostage ou les digestats augmente dans l'ensemble des scénarios pour atteindre entre 15 % (dans S1 et S2) et 30 % (dans S4). Le recyclage talonne (S3) voire excède (S4) la fixation symbiotique pour les scénarios où les grandes capacités de méthanisation (voir fiche « méthanisation ») produisent une quantité importante de digestat. Un scénario (PTEF) propose une hypothèse de rupture avec la mise en place d'une filière de collecte et de valorisation des matières organiques, y compris des excréta humains qui permettrait d'atteindre un taux de recyclage des nutriments de 80 %.



Aucun scénario ne propose la sortie totale de l'azote de synthèse, mais tous permettent d'en réduire la consommation absolue. La baisse de la consommation s'échelonne de 10 % pour le scénario où l'agriculture conventionnelle domine à 85 % pour le scénario le plus ambitieux qui conjugue une conversion intégrale vers des pratiques agroécologiques, baisse de la production et une hypothèse de recyclage de 80 % de l'azote. La plupart des scénarios qui font le choix de généraliser différentes formes de pratiques agroécologiques réduisent la consommation d'azote de synthèse de 40 à 65 % (dans l'ordre S1, nW22, S2).