

EVOLUTION DES SYSTEMES AGRICOLES EN FRANCE : QUELS IMPACTS SUR LA DISPONIBILITE ET LES FLUX DE BIOMASSE METHANISABLE ?

Rapport d'étude

Juin 2022



Sommaire

Table des illustrations	3
Introduction	4
1. Qui sommes-nous ?	6
2. Pourquoi de nouveaux travaux sur ce sujet ?	6
3. Méthode	7
4. Présentation générale des trois scénarios d'évolution des systèmes agricoles 10	
Scénario 1 : Une agriculture multifonctionnelle et « régénératrice ».....	11
Scénario 2 : Une agriculture spécialisée sur l'alimentation, « productiviste » et exportatrice	12
Scénario 3 : Une agriculture multifonctionnelle et orientée sur la performance productive, mais « isolationniste ».....	13
5. Perspectives d'évolution des gisements de biomasse	14
Scénario 1 : Une agriculture multifonctionnelle et « régénératrice ».....	14
Scénario 2 : Une agriculture spécialisée sur l'alimentation, « productiviste » et exportatrice	16
Scénario 3 : Une agriculture multifonctionnelle et orientée sur la performance productive, mais « isolationniste ».....	18
6. Résultats de la modélisation sur les gisements et le potentiel de production de biométhane	20
6.1 Etat initial : principales données de volumes et estimations	20
6.2 Paramètres décrivant l'évolution des systèmes agricoles.....	21
6.3 Volume total produit et volume disponible	25
6.4 Volume mobilisé et potentiel de production de biométhane.....	28
7. Synthèse des résultats quantitatifs	31
8. Limites de l'étude	32
9. Mise en perspective avec les projections existantes	33
10. Conclusion et perspectives	35
11. Bibliographie	36
12. Annexes	38

Table des illustrations

Figure 1: Méthode de caractérisation des gisements et du potentiel de production de biométhane	10
Figure 2: Potentiel de production de biométhane en TWh PCI	31
Figure 3: Comparaison des scénarios disponibles sur les potentiels de production de biométhane.....	33
Tableau 1 : Volumes et potentiel de production de biométhane par catégorie de biomasse - état initial	20
Tableau 5 : Cheptels (en nombre de têtes)	21
Tableau 2 : Surfaces par catégorie de cultures dans les trois scénarios (ha)	22
Tableau 3 : Détail des hypothèses et calculs de surface pour les CIVE d'hiver	23
Tableau 4 : Détail des hypothèses et calculs de surface pour les CIVE d'été	24
Tableau 6 - Présentation des coefficients de rendement appliqués pour chaque scénario	25
Tableau 7 : Volumes totaux d'effluents d'élevage produits et disponibles annuellement	26
Tableau 8 : Présentation des rendements des CIVE	26
Tableau 9 : Volumes totaux de CIVE produites et disponibles annuellement	27
Tableau 10 - Volumes totaux de résidus de cultures annuelles produits et disponibles annuellement	28
Tableau 11: Taux de mobilisation pour la méthanisation des effluents d'élevage	29
Tableau 12: Volume total mobilisé en méthanisation et potentiel de production de biométhane associé pour les effluents d'élevage	29
Tableau 13: Volume total mobilisé en méthanisation et potentiel de production de biométhane associé pour les CIVE.....	29
Tableau 14: Volume total mobilisés en méthanisation et potentiel de production de biométhane associé pour les résidus de cultures annuelles	30

Introduction

La disponibilité de biomasse agricole à des fins énergétiques varie d'un modèle agricole à l'autre. L'évolution du modèle de la « Ferme France » détermine donc directement la capacité de la France et de ses industriels à atteindre les objectifs de politique publique énergétique compte-tenu de la part assignée au biogaz /biométhane. Par réciproque, les choix politiques qui orientent nos trajectoires énergétiques ne sont pas neutres sur l'engagement induit pour le secteur agricole à fournir de la biomasse-énergie.

Sur le terrain - *au champ* - une interrogation croissante porte sur le réalisme des objectifs politiques assignés à la biomasse-énergie : dans les conditions techniques et économiques actuelles et compte-tenu de la transition environnementale qu'elle doit assurer, il apparaît de moins en moins certain que l'agriculture a et aura la capacité à fournir le secteur énergétique en proportion attendue de biomasse-énergie. Les industriels de l'énergie constatent de leur côté la difficulté des filières à se structurer au rythme prévu par le gouvernement.

L'agriculture est en pleine mutation et différentes visions de son avenir possible sont discutées dans des débats plus ou moins réalistes mais toujours passionnés. Différentes trajectoires sont possibles mais la seule certitude est que les réalités de terrain diffèrent toujours - et déjà - des projections des experts. En effet nous - *acteurs de terrain de l'amont agricole* - constatons qu'il est fréquent que les études prospectives portant sur l'avenir de l'agriculture et qui nourrissent la réflexion publique à l'origine des objectifs quantifiés de production de biogaz/biométhane sous-estiment les contingences réelles d'un changement technique et économique lorsqu'il est sensé s'appliquer à l'ensemble des exploitations agricoles française. Dès lors les objectifs publics sur le biogaz risquent d'être incohérents ou de ne pas suffisamment mesurer les conditions nécessaires à l'atteinte de tels objectifs.

Partant du constat que les études de prospective sur le biogaz/biométhane font trop souvent l'impasse sur les freins techniques et économiques rencontrés en phase de construction des filières biogaz, et afin de contribuer à une discussion nécessaire pour permettre à l'agriculture d'assurer les objectifs publics de production de biogaz dans les conditions du développement durable, Agrosolutions initie avec ses partenaires industriels un cycle de travaux destiné à préciser ces conditions.

En posant des hypothèses issues d'un « réalisme de terrain » sur les dimensions techniques et économiques de cette transition, cette première partie des travaux analyse le potentiel de biomasse que l'agriculture pourra destiner au secteur énergétique selon 3 grandes trajectoires de transition possibles. Ces trajectoires ont été déterminées en fonction des arbitrages qui seront pris sur les principales questions actuellement en débat sur l'agriculture de demain : 1) le maintien d'un objectif de compétitivité à l'export, 2) le degré de multifonctionnalité de l'agriculture et 3) la place de l'innovation technologique, en particulier génétique.

Pour chacun des 3 scénarios nous avons estimé le potentiel de production de biogaz/biométhane que peut dégager l'agriculture, 1) dans les limites d'une gestion pérenne du « capital naturel sol » et 2) compte tenu des limites que le contexte technique et économique actuel impose à l'amont agricole dans sa transition.

Cette approche « à dire d'experts » pourra contraster avec les études prospectives plus classiques réalisées sur le sujet et qui ont nourri la projection politique. Ce positionnement est assumé face à une réalité qui illustre déjà les limites de ces études qui le plus souvent ne prennent pas en compte les écueils systématiques du changement sociotechnique, en partie prévisibles lorsque l'on interroge la profession dans sa globalité.

Ces travaux, dont les résultats sont encore préliminaires, sont une proposition de « l'amont agricole » destinée à ouvrir la discussion sur les conditions possibles, « vues du terrain », de la nécessaire transition agricole.

Nous présentons dans ce rapport les scénarios de transition de l'agriculture française définis pour l'exercice de simulation, ainsi que les résultats quantitatifs et principales hypothèses effectuées par scénario.

En parallèle de cette étude portant sur une approche macro « France » basée sur de la modélisation prospective, Agrosolutions et EIFER mènent une étude de terrain destinée à qualifier et chiffrer les déterminants techniques et économiques liés au déploiement des cultures énergétiques dans le Grand Est.

1. Qui sommes-nous ?

Agrosolutions

Agrosolutions est un cabinet de conseil spécialisé sur la transition environnementale de l'agriculture, et accompagne les coopératives agricoles en conseil agronomique depuis plus de 40 ans. Agrosolutions est en particulier leader sur la transition bas-carbone de l'agriculture. Sur le biogaz, Agrosolutions accompagne plusieurs projets de R&D de terrain, avec pour objectif de comprendre et lever les freins au déploiement à grande échelle de cette filière dans les conditions réelles de l'agriculture de grandes cultures.

EIFER

EIFER (Europäisches Institut für Energieforschung) est un groupement européen d'intérêt économique (GEIE) entre le KIT (Karlsruhe Institute of Technology - Université de Karlsruhe) et EDF fondé en 2002. Basé à Karlsruhe, EIFER est un institut de recherche pluridisciplinaire à but non lucratif, orienté vers la recherche appliquée, qui travaille au développement de systèmes énergétiques durables intégrant les besoins et les ressources des villes et des territoires.

Les compétences d'EIFER sur les bioénergies couvrent toute la chaîne de valeur de la filière : caractérisation et évaluation de ressources, procédés de transformation (prétraitement, combustion, gazéification, méthanisation, ...), analyses technico-économiques, modélisation des procédés et des systèmes.

2. Pourquoi de nouveaux travaux sur ce sujet ?

Les objectifs politiques de production de gaz à partir de biomasse agricole sont très ambitieux, avec par exemple une multiplication par 35 à 55 de l'injection de biométhane à l'horizon 2028 (PPE 2019-2028). C'est une bonne nouvelle pour la profession agricole pour qui la diversification des débouchés est d'autant plus une opportunité qu'elle peut répondre aux objectifs nationaux de verdissement de l'économie.

En plus de ce nouvel objectif de production de matière première énergétique et de son historique rôle nourricier, l'agriculture doit assurer de nouvelles fonctions : production de matière première pour les matériaux, gestion du capital naturel (eau, sol, biodiversité), préservation des paysages, réduction d'émissions et stockage de carbone.

S'il est avéré que l'agriculture peut répondre à chacune de ces fonctions prises isolément, une interrogation demeure sur sa capacité à toutes les assurer de front, aux niveaux d'attentes prescrits, dans les conditions techniques et économiques actuelles.

A cette multiplication des attentes, il faut ajouter que les dernières années ont été marquées par de nombreuses déconvenues agronomiques (par exemple sur la culture des légumineuses) qui illustrent la complexité à réussir cette transition. Ces « impasses agronomiques » sont le fait notamment du changement climatique mais également d'un resserrement de la réglementation, des normes sur les traitements phytosanitaires autorisés et des objectifs environnementaux de l'agriculture décorrélés de tout ajustement de son modèle économique.

Dans ce contexte où l'agriculture fait face à un renforcement des contraintes et à une multiplication des attentes il nous a donc semblé utile d'initier un cycle de travaux sur la réalité des transitions possibles, mais surtout – angle mort récurrent des politiques publiques - des conditions de leur réussite, vu de l'amont agricole.

3. Méthode

Périmètre et définition de la biomasse agricole

Le périmètre de l'étude couvre les gisements de biomasse liés aux systèmes agricoles, à l'échelle nationale¹ : effluents d'élevages (fumier et lisier), résidus de cultures annuelles (pailles et menues pailles de céréales, maïs, oléagineux, protéagineux), issues de silos, cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE d'été et d'hiver). Les cultures dédiées dites pérennes (miscanthus, switchgrass, silphie) et la biomasse bois agricole (bocage et alignements d'arbres, haies) ont été étudiées dans les scénarios, mais n'ont pas été traduites en potentiel méthanisable, étant réservés à d'autres usages énergétiques.

Le périmètre de l'étude ne couvre pas les cultures annuelles dédiées à la bioénergie (maïs, sorgho, betterave, pomme de terre, etc.). L'usage alimentaire est jugé prioritaire dans les différents scénarios, et les hypothèses d'assolement effectuées ne prennent pas en considération de variations d'usage. Pour cette même raison, les surfaces en herbe ont été prises en compte dans les hypothèses d'assolement (pour l'usage en alimentation animale) mais n'ont pas été prises en considération pour une valorisation en méthanisation.

Les résidus de cultures pérennes (vigne et vergers), et taillis à Courte ou Très Courte Rotation n'ont pas été étudiés, n'étant pas valorisés en méthanisation.

Principales sources de données

Le travail de prospective a été réalisé sur base de bibliographie et d'entretiens experts.

Les experts interrogés étaient affiliés à :

- Des entreprises du secteur de la production agricole ou des agrofournitures ;
- Des structures de recherche et développement sur les thématiques d'agriculture, alimentation et environnement ;
- Des start-ups de la bioéconomie ;
- Des établissements ou administrations publiques.

Au préalable, un travail de compilation et d'analyse des sources bibliographiques disponibles a été réalisé, tant pour l'état des lieux des gisements actuels que pour les différents travaux de prospective ayant été conduits dans le domaine (étude ADEME-GRDF², scénario Afterres 2050³, scénario TYFA⁴, étude France Stratégie 2021⁵, etc.).

¹ Territoire de la France métropolitaine

² [Etude Un mix de gaz 100% renouvelable en 2050, ADEME, GRDF et GRTgaz, 2018](#)

³ [Couturier C., Charru M., Doublet S., Pointereau P., Afterres 2050, Solagro, 2016](#)

⁴ [Poux X. \(AScA, Iddri\), Aubert P.-M. \(Iddri\) Une Europe agroécologique en 2050 : une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine, 2018](#)

⁵ [Mourjane I., Fosse J. \(France Stratégie\), Biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel énergétique ?, 2021](#)

Des études et données statistiques ont été mobilisées pour enrichir le travail de quantification, en particulier les données de différentes études ADEME⁶, les statistiques annuelles du Service de la statistique et de la prospective (SSP) du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, ainsi que les données de FranceAgriMer, d'après l'Observatoire national des ressources en biomasse (ONRB 2020⁷).

Construction des scénarios

3 scénarios de transition ont été construits sur base de combinaisons entre les choix suivants :

1 – Maintien d'une ambition de compétitivité à l'export

Le débat actuel oppose les partisans d'une agriculture française qui maintiendrait sa performance à l'export, contre les défenseurs d'un retour à une agriculture centrée sur l'autosuffisance alimentaire française mais sans ambitions de marchés au-delà de nos frontières.

2 – Degré de multifonctionnalité de l'agriculture

A sa fonction principale de production alimentaire, l'agriculture se voit de plus en plus incitée à ajouter les fonctions suivantes : fourniture de biomasse-énergie, fourniture de biomasse-matériaux, gestion/régénération du capital naturel et en particulier la biodiversité, lutte contre le changement climatique par la baisse des émissions de gaz à effet de serre et le stockage de carbone. Toutes sont possibles individuellement, mais dans les conditions techniques et économiques actuelles et la réalité de terrain, elles nécessitent souvent des arbitrages.

3 – Innovation, dont en particulier l'innovation génétique

L'innovation et en particulier l'innovation génétique liée aux nouvelles techniques de sélection que permet le génie génétique constitue un gisement de performance pour l'agriculture. L'innovation peut contribuer à atteindre les objectifs des différentes nouvelles fonctions de l'agriculture. Ce potentiel n'apparaît pas dans les études prospectives habituelles, nous l'intégrons dans certains de nos scénarios.

L'impact sur les flux de biomasse de chacun des scénarios a d'abord été évalué qualitativement et « à dire d'experts » dans les différents bassins de production, en assumant les constantes suivantes :

- L'assurance d'une production alimentaire suffisante pour la **sécurité alimentaire**, a minima à l'échelle nationale ;
- La garantie d'un **revenu décent pour l'agriculteur** dans les conditions techniques et économiques actuelles, le cas échéant nous avons indiqué les conditions d'aides ou de compléments de revenu nécessaires pour les volets de la transition concernés ;
- L'évolution vers une agriculture « **climat compatible** » : résiliente face aux aléas climatiques, réduisant ses émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre, favorisant le stockage de carbone dans les sols et la biomasse aérienne.

Les entretiens experts ont permis d'isoler les paramètres suivants pour décrire l'évolution des systèmes agricoles :

⁶ [ADEME, SOLAGRO et INDIGGO, Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation, rapport final, 2013, 117p](#) ; [ADEME, Deloitte, AILE et Alterra Wageningen, Mobilisation de la biomasse agricole, 2016](#)

⁷ [FranceAgriMer, ONRB \(2020\), Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France](#)

Axe d'étude	Paramètres descriptifs
Performance des systèmes de production	<ul style="list-style-type: none"> Niveau d'utilisation des intrants Innovation & niveau de déploiement des nouvelles technologies (digital, génétique) Productivité et charge de travail Niveau de déploiement des pratiques agronomiques permettant de stocker du carbone et de s'adapter au changement climatique
Débouchés économiques à l'échelle de l'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> Développement des labels, primes filières et paiements pour services environnementaux Développement de l'Agriculture Biologique
Fondamentaux macro-économiques au niveau national	<ul style="list-style-type: none"> Objectifs nationaux d'autonomie protéique Objectifs nationaux de souveraineté alimentaire et compétitivité à l'export Prix de rachat du biogaz Prix de la tonne de carbone
Changements structurels des systèmes de culture	<ul style="list-style-type: none"> Niveau de déploiement des couverts, et en particulier CIVE d'été et d'hiver Niveau de déploiement des cultures à bas niveau d'intrants et des légumineuses Niveau de recours aux intrants chimiques
Changements structurels des systèmes d'élevage	<ul style="list-style-type: none"> Cheptels Lien au sol, autonomie alimentaire, modes d'élevage Evolution des prairies et surfaces fourragères
Dynamique des grands bassins de production	<ul style="list-style-type: none"> Evolutions principales en termes d'assolement Niveau de spécialisation, complémentarité cultures-élevage Développement de la méthanisation
Implication sur l'évolution de la stratégie de fertilisation	<ul style="list-style-type: none"> Niveau de fertilisation minérale Recours à d'autres sources d'azote (légumineuses, digestats, etc.)

Modélisation des évolutions des gisements de biomasse et production d'énergie

Agrosolutions a d'abord conduit un travail qualitatif, à dire d'experts, de construction des scénarios et d'évaluation de la variation induite sur les flux de biomasse dans les bassins de production. Cette approche a été complétée par une modélisation quantitative à l'échelle nationale : les hypothèses de production ont été chiffrées par Agrosolutions puis converties par EIFER en potentiel de production de biométhane (en TWh PCI).

Une estimation de l'état initial a été réalisée, sur base des données de la bibliographie et d'hypothèses lorsque les données n'étaient pas disponibles (surfaces en CIVE, production associée, taux de mobilisation des effluents ou des résidus de culture pour la méthanisation, etc.).

Chaque gisement a été caractérisé dans les trois scénarios selon : i) la biomasse totale produite, ii) la biomasse disponible et iii) la biomasse mobilisée pour la méthanisation (cf. Figure 1).

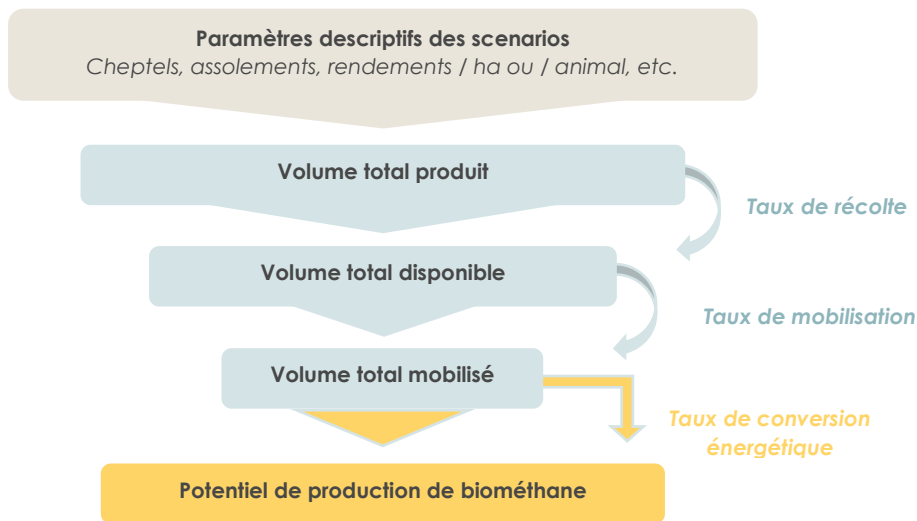


Figure 1: Méthode de caractérisation des gisements et du potentiel de production de biométhane

Des hypothèses ont été effectuées sur les évolutions des taux de récolte dans les différents scénarios, selon les contraintes techniques de récolte ou les objectifs de retour au sol direct des biomasses. De même, des hypothèses ont été proposées sur les évolutions des taux de mobilisation, selon les usages envisagés pour les différentes catégories de biomasse. Les taux de conversion énergétique, ou rendements de conversion de la biomasse en biométhane, sont considérés comme constant dans les scénarios, les technologies de méthanisation étant matures (une éventuelle augmentation de la production de biométhane en valorisant le CO₂ issu de l'étape d'épuration du biogaz n'a pas été considérée).

Cette modélisation permet de traduire ces projections qualitatives en résultats chiffrés, lesquels seront présentés plus en détails dans la suite du document.

4. Présentation générale des trois scénarios d'évolution des systèmes agricoles

Les paramètres des scénarios ont été ajustés de manière à assurer les « constantes » présentées ci-dessus : sécurité alimentaire, revenu de l'agriculteur et compatibilité climatique.

L'objectif de sécurité alimentaire nationale s'est traduit par une tendance globale à la diversification des assolements permettant notamment le renforcement de certaines productions (protéagineux par exemple), et une limitation sur les hypothèses de dégradation de cheptels ou de rendements.

L'objectif d'un revenu décent pour l'agriculteur a été traduit par :

- Une certaine prudence sur les hypothèses impactant l'équilibre économique de l'exploitation (diminution de rendement, transition estimée comme risquée) ;
- Un changement de paradigme sur les rémunérations des services environnementaux lorsque les hypothèses réalisées impliquaient un changement

de modèle économique significatif pour l'agriculture (évolution des primes filières ou prix plancher de la tonne de carbone).

L'évolution vers une agriculture climat compatible implique l'adoption de différents leviers d'adaptation au changement climatique et de réduction des impacts directs et indirects. Les hypothèses que nous avons formulées pour intégrer ces leviers ont pris en compte l'équilibre des agroécosystèmes, le bouclage des cycles, la stimulation des services écosystémiques et la protection de la biodiversité.

L'atteinte de ces objectifs fondamentaux dans les différents scénarios a été évaluée de manière qualitative.

Trois scénarios d'évolution à l'horizon 2050

Ci-dessous les trois scénarios proposés :

1	2	3
<p align="center">Une agriculture multifonctionnelle et « régénératrice »</p> <p><i>L'équilibre économique n'est pas assuré par la performance productive mais par la valorisation économique des services écosystémiques.</i></p>	<p align="center">Une agriculture spécialisée sur l'alimentation, « productiviste » et exportatrice</p> <p><i>L'équilibre économique est assuré par la performance productive et la compétitivité à l'export des excédents, essentiellement en débouchés alimentaires.</i></p>	<p align="center">Une agriculture multifonctionnelle et orientée sur la performance productive, mais « isolationniste »</p> <p><i>L'équilibre économique est assuré par un équilibre des différents débouchés alimentaire, énergie et biomatériaux au niveau national.</i></p>



Scénario 1 : Une agriculture multifonctionnelle et « régénératrice »

Dans ce scénario :

- **L'ambition productiviste de l'agriculture française est abandonnée** tout comme sa vocation à nourrir le monde ;
- Les systèmes agricoles évoluent dans leurs pratiques et leur organisation, de manière à **s'appuyer fortement sur les services de leur écosystème** ;
- Le contexte économique et réglementaire évolue en profondeur pour **financer la transition et rémunérer les services environnementaux rendus**.

Des systèmes de production dont la performance est basée sur la valorisation des services de l'écosystème

Le premier enjeu pour les systèmes agricoles dans ce scénario est de protéger voire de régénérer le capital naturel des agroécosystèmes, tels que la matière organique du sol, les éléments minéraux, ou la biodiversité. Des pratiques agronomiques sont mises en place pour adresser cet enjeu (cultures intermédiaires, fertilisation organique, maintien des prairies permanentes, haies, etc.), toujours favorables au stockage de carbone dans les sols et la biomasse aérienne.

Ces systèmes de production présentent une meilleure résilience face aux aléas climatiques et économiques, dans la mesure où ils sont diversifiés dans l'espace et le

temps (rotations longues, infrastructures paysagères) et qu'ils s'appuient sur des écosystèmes riches et à l'équilibre.

La productivité des systèmes est plus faible, associée à la limitation de l'usage des intrants de synthèse, en particulier les fertilisants minéraux. Les systèmes gagnent en complexité et la charge de travail s'avère dans la majeure partie des cas plus importante, du fait d'un plus fort niveau de diversification des activités et des tâches.

Un modèle économique conditionné par la rémunération des services environnementaux

La rentabilité économique est dépendante d'une forte rémunération des services environnementaux rendus, dans la mesure où les volumes produits sont en baisse. Ainsi, de nouveaux cahiers des charges et labels spécifiques valorisant le stockage de carbone, la protection de la ressource en eau, ou la protection de la biodiversité se développent. L'agriculture de conservation des sols, l'agriculture bas carbone, ou l'agriculture régénératrice sont valorisées. Les cahiers des charges actuels (Label Rouge par exemple) se renforcent pour associer qualité des produits et impact environnemental, et des primes filières se mettent en place pour rémunérer les agriculteurs. Enfin, l'Agriculture Biologique est en fort développement, répondant à l'enjeu de limiter les intrants de synthèse.

Des mutations fortes au niveau macro-économique

La priorité est donnée à l'autonomie alimentaire nationale : les grands équilibres d'assolements sont revus, avec une déspecialisation des exploitations de grandes cultures (essor des productions légumières, protéagineux) et une forte baisse des cultures de céréales dédiées à l'export. Les importations de protéagineux (soja en particulier) et viande sont réduites. La filière oléo-protéagineux se structure grâce à un plan protéines finançant de la R&D et des investissements, et grâce aux mécanismes de paiements pour services environnementaux.

Le marché carbone volontaire s'est structuré et la tonne de carbone a atteint une valeur permettant de rémunérer les changements de pratiques nécessaires à la transformation bas-carbone des systèmes (100 € / tonne minimum).

Des taxes sur l'usage des fertilisants minéraux et des produits phytosanitaires sont mises en place, contribuant à financer les systèmes agricoles peu consommateurs d'intrants.



Scénario 2 : Une agriculture spécialisée sur l'alimentation, « productiviste » et exportatrice

Dans ce scénario :

- **L'agriculture française a une ambition productiviste** pour nourrir les français et le monde : la priorité est donnée à l'usage alimentaire ;
- **L'agriculture française est compétitive à l'export** et présente un solde net très excédentaire ;
- **L'innovation technologique** sert une performance agronomique permettant de combiner une forte production de biomasse et le respect des engagements climatiques ;

- Les pratiques favorisant le stockage de carbone dans les sols agricoles et la biomasse aérienne (haies, alignements d'arbres), ainsi que l'optimisation de l'usage des intrants sont favorisées, présentant de nombreux **co-bénéfices environnementaux** (biodiversité, qualité de l'eau, etc.).

Le pari de l'optimisation de l'efficacité des systèmes agricoles

L'enjeu pour les systèmes agricoles est avant tout d'augmenter la productivité et d'optimiser l'usage des intrants (produire plus avec moins), afin d'améliorer l'efficacité économique et environnementale. Le recours à certaines technologies est une voie privilégiée dans ce scénario, via des techniques de sélection variétale (New Breeding Technics) ou des outils digitaux de pilotage des apports d'intrants selon les besoins des cultures et animaux.

Les pratiques agronomiques permettant le stockage de carbone dans les sols et les éléments paysagers sont encouragés afin d'atteindre les objectifs climatiques. Par ailleurs, l'introduction de protéagineux dans les rotations est soutenue, dans un objectif d'autonomie en protéines végétales et d'optimisation de l'usage des fertilisants sur les systèmes de culture. L'innovation variétale ainsi que dans les systèmes de lutte biologique et d'agriculture de précision, couplée à un niveau d'aides aux filières protéagineux permet un redécollage de la filière.

Un modèle économique basé sur les volumes

Dans cette logique, le modèle économique est basé sur la productivité des systèmes et la limitation des coûts des intrants grâce à l'agriculture de précision. Les surfaces en Agriculture Biologique sont stables, les labels de qualité existants (Label Rouge, appellations d'origine, filières qualité) persistent, en raison du lien au terroir français et des standards de qualité qu'ils représentent.

Une agriculture tournée vers l'export

Les productions françaises restent compétitives à l'export, les exportations sont maintenues à leur niveau actuel, le solde net est largement excédentaire.

Les importations en protéagineux baissent, grâce à une production française soutenue par les politiques publiques, une plus grande demande consommateur et une amélioration des rendements permise par la sélection variétale.



Scénario 3 : Une agriculture multifonctionnelle et orientée sur la performance productive, mais « isolationniste »

Dans ce scénario :

- **L'agriculture française est productiviste et adresse des débouchés diversifiés** : alimentation, énergie, biomatériaux, services environnementaux, etc.
- **Les ambitions à l'export sont abandonnées** (faible compétitivité), les surfaces libérées sont affectées à la production de biomasse non alimentaire, permis par un dimensionnement adapté de l'environnement économique et réglementaire des filières ;
- Les systèmes de production évoluent pour **favoriser le stockage de carbone**, une place importante est donnée au raisonnement agronomique à l'échelle de la rotation.

La recherche d'un productivisme durable

Dans ce scénario, les systèmes de production visent à maximiser la biomasse produite mais une place importante est donnée au raisonnement agronomique dans la stratégie d'exploitation, afin de protéger les ressources (eau, sol, biodiversité) et le climat.

La couverture des sols, l'allongement des rotations, l'introduction de légumineuses ou encore l'autonomie protéique des élevages sont des leviers mobilisés pour tendre vers un productivisme durable. Les pratiques agronomiques permettant de stocker du carbone se développent massivement, et les éléments paysagers (haies, agroforesterie) sont valorisés pour la production de biomasse et les services environnementaux (biodiversité, carbone).

L'usage des intrants est piloté dans le temps et dans l'espace selon les besoins des cultures et cheptels grâce à des technologies de modulation (cartographie, robots, etc.).

Des débouchés diversifiés sur le marché national

Les productions sont valorisées sur le marché national, les ambitions à l'export étant abandonnées par manque de compétitivité.

La biomasse non alimentaire est bien valorisée, les débouchés associés sont rémunérateurs et des revenus complémentaires sont apportés sur certaines exploitations (éolien, agrivoltaïsme).

Les paiements pour services environnementaux et les primes filières se développent pour encourager les services environnementaux rendus, la traçabilité et la qualité des productions. En particulier, les crédits carbone sont valorisés à des valeurs assez élevées sur le marché volontaire.

Structuration de filières alimentaires et non alimentaires

Le prix du biogaz/biométhane permet une rémunération attractive de l'amont agricole, encourageant la structuration de filières de production de biomasse non alimentaires, telles que les cultures intermédiaires. L'intégration de ces productions dans le cycle cultural entraîne une réorganisation des systèmes de culture et des assolements et par conséquent la restructuration de certaines filières.

Les filières d'oléo-protéagineux destinées à l'alimentation animale et humaine se structurent (pois, féverole, soja, lupin), profitant d'un plan protéique national et de paiements pour services environnementaux. Cependant, certains verrous techniques (sensibilité aux maladies en particulier) perdurent.

5. Perspectives d'évolution des gisements de biomasse

Nous présentons ici, pour chacun des scénarios étudiés l'évolution des systèmes de production dans les différents bassins de production, et l'impact induit, d'un point de vue qualitatif et descriptif, sur les gisements de biomasse. Ces éléments ont été intégrés dans le modèle quantitatif présenté en synthèse à la fin du rapport.



Scénario 1 : Une agriculture multifonctionnelle et « régénératrice »

Des systèmes de culture basés sur les principes de l'agriculture régénératrice

Les systèmes de culture sont diversifiés, les rotations sont longues (plus de 7 ans). Des pratiques favorisant la couverture des sols sont mises en place (couverts d'intercultures en particulier), entraînant la production de nouvelles sources de biomasse. **Cependant, le retour au sol de ces biomasses reste privilégié.** Les exportations de biomasse sont raisonnées selon le contexte de la parcelle (potentiel de stockage de carbone, rotation en place).

Ces systèmes ont un recours très limité aux intrants chimiques. La protection intégrée des cultures (lutte biologique) est privilégiée et le travail du sol est limité. **Les doses de fertilisation minérale sont considérablement diminuées** (ce qui induit une baisse du rendement objectif). Les légumineuses introduites dans les systèmes constituent une source d'azote significative et les effluents d'élevage représentent une ressource privilégiée pour apports organiques. Les digestats de méthanisation constituent une ressource complémentaire, de même que d'autres ressources organiques (boues de stations d'épuration, composts). Cependant, les incertitudes relatives aux impacts sur la santé des sols de ces matières limitent leurs usages.

Les agriculteurs peuvent avoir recours à des outils digitaux et à la robotique pour gérer certains systèmes agronomiques complexes et absorber la charge de travail (désherbage en betterave ou cultures légumières par exemple).

Baisse des cheptels, extensification et valorisation des ressources locales

Dans ce scénario, les élevages intensifs et hors-sol sont délaissés au profit d'élevages ayant une plus faible productivité à l'hectare et davantage liés au sol (valorisant en particulier des surfaces en herbe). Une baisse globale des cheptels est ainsi constatée, l'enjeu est cependant de les maintenir à un niveau suffisant pour la ressource en matière fertilisante qu'ils représentent et pour satisfaire la demande en viande du marché français.

La priorité est donnée à la valorisation des ressources locales (herbe, fourrages récoltés, légumineuses à graines, coproduits industriels) et les achats d'aliments sont limités. Les surfaces en prairies augmentent, de même que celles en légumineuses et en intercultures destinées aux fourrages. L'élevage, quand il est présent, constitue une source de valorisation prioritaire pour ces surfaces, devant la valorisation non alimentaire.

L'origine France est privilégiée dans les comportements de consommation, les filières d'engraissement à l'étranger sont abandonnées et les importations de viande sont en baisse.

Diversification territoriale

Les bassins de production de grandes cultures se diversifient, quelques élevages sont de retour dans la plaine pour fournir de la matière organique.

La méthanisation basée sur des ressources végétales se développe dans les zones intermédiaires à plus faible potentiel agronomique, avec l'introduction de prairies temporaires fauchées pour la bioénergie. Au-delà de la production d'énergie, elles présentent l'intérêt d'allonger les rotations et de stocker du carbone.

Les productions maraîchères se développent en zones urbaines et péri-urbaines, pour répondre à la demande locale.

Impacts sur les gisements de biomasse : baisse pressentie de la biomasse disponible

Dans ce scénario, la diminution des cheptels induit une moins grande disponibilité des effluents d'élevage. Ces derniers sont également **moins mobilisables** en raison de l'extensification des systèmes d'élevage (temps de présence en bâtiment des animaux réduit), et d'un usage en épandage prioritaire.

Les **cultures intermédiaires se développent fortement au vu de leurs bénéfices environnementaux, mais sont peu exportées** pour des usages énergétiques : l'objectif productif et l'exportation sont assurés seulement quand le contexte pédoclimatique le permet. Le gisement mobilisé est donc dégradé par rapport à un gisement disponible en augmentation. Les CIVE d'hiver présentent un développement plus important que les CIVE d'été (concurrence avec la ressource en eau et avec l'utilisation comme ressource fourragère n'engageant pas d'objectif de productivité pour ces couverts).

La biomasse disponible et mobilisée diminue pour les résidus de cultures et les issues de silos, en raison de rendements diminués par rapport à la situation actuelle. Par ailleurs le retour au sol reste privilégié pour les pailles de céréales.

Les gisements issus de cultures à bas niveau d'intrant (chanvre par exemple) ou de cultures dites pérennes (miscanthus) augmentent, portés par des débouchés attractifs et des paiements pour services environnementaux adaptés. Les surfaces en cultures dédiées à un usage non alimentaire ne présentant pas de bénéfices environnementaux à la parcelle stagnent.

Enfin, **le gisement en biomasse bois agricole augmente** (haies, alignements d'arbres), et est mobilisé pour la bioénergie.

Au global, dans ce scénario, les gisements disponibles évoluent plutôt dans le sens d'une augmentation de la biomasse non alimentaire produite (via les couverts d'interculture et la biomasse bois) et d'une baisse de la biomasse alimentaire, due à une plus faible productivité et à une extensification des systèmes.

La disponibilité de la biomasse pour la bioénergie augmente mais varie cependant selon le contexte pédoclimatique et agronomique de la parcelle, le retour au sol (y compris des effluents) est privilégié et les conditions de récolte incertaines.

Ce scénario traduit une évolution de la répartition spatiale des gisements en biomasse, avec une tendance à la déspecialisation des bassins de production.



Scénario 2 : Une agriculture spécialisée sur l'alimentation, « productiviste » et exportatrice

Spécialisation sur des cultures compétitives

Les cultures alimentaires et d'exportation ont une place centrale dans les rotations. La priorité est donnée à la qualité de leur implantation et à leur bon développement.

Les cultures intermédiaires sont promues pour leur intérêt environnemental mais ne sont que peu valorisées et récoltées pour ne pas pénaliser l'implantation de la culture

principale (par exemple par un décalage de date de semis), au vu du risque climatique.

Outre les cultures intermédiaires, d'autres pratiques favorables au stockage de carbone sont mises en place pour répondre aux objectifs climatiques : développement de l'agroforesterie, maintien des prairies permanentes et des haies, ...

L'intégration de légumineuses dans les assolements pour l'alimentation animale et humaine constitue aussi un incontournable pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les technologies de sélection variétale ont contribué à rendre ces cultures compétitives.

La fertilisation minérale azotée est maintenue à un niveau élevé pour atteindre des niveaux de rendements équivalents à l'actuel. Les apports sont ajustés via des outils de modulation. Les systèmes de culture en zones spécialisées sur les productions végétales intensifient leurs recours à d'autres formes de matières organiques que les effluents d'élevage (composts, boues de stations d'épuration, retour au sol des couverts).

Élevages intensifs et maintien des prairies

Les systèmes d'élevages sont principalement intensifs afin d'optimiser les coûts de production et de limiter l'impact environnemental : l'enjeu est d'optimiser la conduite d'élevage, en réduisant les temps improductifs (maladies, infertilité), et en ajustant au mieux les apports d'aliments aux besoins des animaux. Les technologies digitales se développent en ce sens (robots, distributeurs automatiques, capteurs, etc.). L'agriculture pastorale se maintient dans les zones montagnardes peu accessibles, permettant l'entretien des paysages et la lutte contre l'érosion.

Les surfaces en prairies sont maintenues à leur niveau actuel, pour éviter un déstockage de carbone. L'origine France est mise en avant pour l'alimentation animale, en particulier sur les protéines (arrêt de l'import de soja issu de la déforestation).

Maintien des grands bassins et tendance à la spécialisation

Les grands bassins de production actuels sont maintenus, les territoires tendent à se spécialiser sur certaines productions afin d'optimiser les coûts de production, de gagner en compétitivité économique sur les opérations transformation et de gagner des parts de marché à l'export.

Impacts sur les gisements de biomasse : un gisement du côté des élevages

Dans ce scénario, les cheptels étant à un niveau similaire à celui de 2020, le gisement en **effluents d'élevage disponibles ne baisse pas, et il est plus facilement mobilisable** (systèmes intensifs et bâtiments).

Le gisement en cultures intermédiaires à vocation énergétique reste limité, la priorité étant donnée aux cultures alimentaires et exportatrices. Les couverts mis en place sont utilisés comme levier agronomique dans ces systèmes intensifs (insertion de légumineuses, etc.), la priorité n'est donc pas à l'export de la matière organique qu'ils produisent. Sur certaines cultures les évolutions variétales ont pu permettre une

meilleure précocité et réduire les risques sur l'implantation de cultures de printemps après les CIVE d'hiver.

La disponibilité de la biomasse en résidus de cultures et issues de silos est maintenue dans ce scénario : dans cette logique productiviste, les rendements ne baissent pas malgré les aléas climatiques et les difficultés techniques associées.

Enfin, les cultures pérennes à vocation énergétique peuvent être amenées à se développer dans certaines zones à fort enjeu environnemental. Le linéaire de haies actuel est maintenu pour ne pas dégrader le stock de carbone actuel, mais cette biomasse reste peu valorisée.

Au vu du faible développement des CIVE dans ce scénario, les effluents d'élevage s'avèrent être la principale ressource de biomasse, le gisement restant important et étant plus facilement mobilisable dans ces systèmes.

La priorité reste à la production de biomasse alimentaire, dont le gisement en coproduits est donc légèrement plus important.



Scénario 3 : Une agriculture multifonctionnelle et orientée sur la performance productive, mais « isolationniste »

Diversification des assolements et intensification de la production

Les rotations sont dans la majorité des cas longues (7 ans), intégrant des légumineuses en intercultures ou en cultures principales, dédiées au marché national.

Les systèmes de culture sont intensifiés, avec des productions à cycle court en interculture (3 cultures en 2 ans). Certaines cultures sont délaissées dans certains contextes (colza pour tournesol par exemple), les choix s'orientant vers des cultures à cycle court pour permettre le développement suffisant des couverts. Lorsque qu'elles ne sont pas laissées au sol, **le retour au sol de ces matières est assuré sous forme de digestat**. Cette ressource organique est normalisée, ses valeurs fertilisantes sont connues et des outils de pilotage sont utilisés pour l'épandage.

La fertilisation minérale des cultures est modulée afin de limiter les usages, en ajustant au mieux les doses aux besoins des cultures.

L'agroforesterie se développe, c'est une voie choisie comme une réponse aux enjeux de résilience au changement climatique et à la protection de la biodiversité.

Entre complémentarités et concurrences d'usage

Les cheptels baissent selon la tendance actuelle, les systèmes d'élevage s'orientent vers des filières qualité répondant au marché français, avec des attentes importantes sur le bien-être animal et les performances environnementales. Les cheptels de ruminants en zones de moyenne montagne et les systèmes plus extensifs avec prairies se maintiennent.

Les systèmes d'élevage favorisant les ressources locales sont privilégiés. Les surfaces en prairies se développent en ce sens, constituant par ailleurs un levier pour l'allongement des rotations et le stockage de carbone. L'enjeu est ici de sécuriser des approvisionnements en fourrages, la concurrence d'usage avec la méthanisation

pouvant se faire plus fortement sentir dans ce scénario. Le nombre d'élevages monogastriques hors sol diminue.

Maintien des grands bassins et tendance à la diversification

Les grands bassins de production actuels se maintiennent avec une diversification à l'échelle des rotations et des paysages (agroforesterie).

La **méthanisation basée sur des ressources végétales se développe dans des zones intermédiaires à plus faible potentiel agronomique** comme source de revenu et levier agronomique.

Impacts sur les gisements de biomasse : augmentation de la biomasse produite et mobilisée

Dans ce scénario, **les cultures intermédiaires ont une place importante** dans les systèmes de culture, avec un double usage agronomique et énergétique. Ainsi, le gisement disponible et mobilisé augmente. La production de biomasse est privilégiée, les couverts sont ainsi conduits comme des cultures à part entière, avec des objectifs de rendement et un travail variétal sur la précocité.

Le gisement en effluents d'élevage diminue du fait de la diminution des cheptels, mais est davantage capté, au vu du prix attractif du biogaz.

Le gisement en résidus de culture évolue peu, mais les coproduits actuellement destinés à l'alimentation du bétail (drèches de betteraves, issues de silos) sont en partie captés par les filières de méthanisation.

Les cultures principales dédiées à un usage non alimentaire ne se développent pas massivement, l'usage alimentaire restant prioritaire. Cependant, certaines cultures peuvent être promues lorsqu'elles présentent un intérêt environnemental et agronomique (chanvre, cultures dites pérennes, prairies temporaires).

Le gisement en biomasse bois est en développement (agroforesterie) et est valorisé sur des débouchés bois énergie.

Selon ce scénario **la production de biomasse à destination alimentaire** évolue faiblement (rendements relativement stables) tandis que **les gisements mobilisés pour les débouchés non alimentaires augmentent** (bioéconomie), via la mobilisation des effluents d'élevage et des cultures intermédiaires.

Des concurrences d'usages apparaissent pour la valorisation de cette biomasse à destination de la bioéconomie, entre énergie, biomatériaux, chimie, et aliment d'élevage. Ils ne sont pas traités dans cette étude.

6. Résultats de la modélisation sur les gisements et le potentiel de production de biométhane

6.1 Etat initial : principales données de volumes et estimations

Un premier travail a été mené pour définir un état initial, afin de consolider les hypothèses des scénarios et prendre conscience, dans la mesure des données disponibles sur l'état initial, de l'écart à combler pour accomplir les scénarios en 2050.

Le Tableau 1 présente une estimation des gisements de biomasse agricole actuels, par catégorie, en différenciant les effluents d'élevage (fumier et lisier), les Cultures Intermédiaires à Vocation Energétique (CIVE), et les résidus de cultures annuelles (pailles, menues pailles et issues de silo).

Tableau 1 : Volumes et potentiel de production de biométhane par catégorie de biomasse - état initial

	Volume total produit*	Volume total disponible*	Taux de récolte (%)	Volume total mobilisé*	Taux de mobilisation (%)	Potentiel de prod. de biométhane (GWh PCI)
Fumier	89 055	89 055	100%	1 781	2%	639
Lisier	187 695	46 476	25%	930	2%	164
Total effluents	276 751	135 531		2 711		804
CIVE d'été	301	175	58%	175	100%	379
CIVE d'hiver	465	372	80%	372	100%	806
Total CIVE	766	547		547		1 184
Pailles**	52 351	11 477	22%	1 148	10%	2 521
Menues pailles	14 112	141	1%	71	50%	147
Issues de silos	382	382	100%	153	40%	379
Total résidus	66 845	12 000		1 371		3 047

*En ktMB/an pour les effluents d'élevage et en ktMS/an pour les CIVE et résidus de cultures annuelles

**De céréales (cannes de maïs comprises) et d'oléagineux, hors soja

Sources : Agrosolutions, d'après l'ONRB 2020, ADEME 2013, projet RECITAL, France Stratégie

En termes de volume total produit, le gisement le plus conséquent concerne les effluents d'élevage, avant les résidus de cultures annuelles et les CIVE. La même tendance s'observe concernant le volume total disponible. Ce dernier est calculé en appliquant au volume total produit un taux de récolte, permettant de prendre en compte la part du gisement directement restituée au sol. Des taux de récolte ont été estimés pour chaque catégorie de gisement, sur base de bibliographie (ONRB 2020, ADEME 2013) et résultats d'enquête terrain (cas des CIVE avec les résultats de l'enquête AMF menée dans le cadre du projet RECITAL⁸, et des menues pailles).

A ces volumes totaux disponibles sont attribués des taux de mobilisation pour la méthanisation, traduisant ainsi la part du gisement récolté destiné à être valorisé en méthanisation. Ainsi, pour les effluents d'élevage, il a été estimé que 2% des volumes

⁸ Source : [Projet RECITAL, Enquête AMF Etat des lieux CIVE, 2021, résultats cohérents avec l'étude SEMENCIVE 2020](#)

sont aujourd'hui valorisés en méthanisation, ce qui est cohérent par rapport à l'hypothèse choisie dans l'étude de France Stratégie. Les CIVE étant cultivées dans un objectif de valorisation énergétique, la totalité est considérée comme mobilisable. Enfin, les taux de mobilisation sont variables selon les résidus de cultures annuelles et sont notamment estimés à 10% pour les pailles⁹ et à 40% pour les issues de silos qui sont en nette concurrence avec l'usage alimentation animale¹⁰. Enfin, pour les menues pailles, l'hypothèse d'un taux de mobilisation de 50% a été pris.

Ainsi, d'après cet état initial (avec toutes les limites qu'il comporte) le potentiel de production de biométhane serait actuellement majoritairement associé aux résidus de culture (3 047 GWh PCI) et notamment aux pailles, puis aux CIVE et enfin aux effluents d'élevage. Le potentiel des résidus de culture peut s'avérer surestimé.

Un point d'attention est à porter sur les volumes estimés en CIVE. Actuellement, très peu d'informations relatives aux CIVE et notamment aux surfaces en place, sont connues et publiées. Le détail des hypothèses effectuées pour les surfaces en CIVE sont détaillées partie 6.2. Un taux de récoltes de 58% pour les CIVE d'été, et de 80% pour les CIVE d'hiver ont été choisi sur la base de l'étude RECITAL – Les conditions de durabilité des CIVE, 2021 - et permettent de prendre en compte les cas où la situation ne permet pas de les récolter (rendement trop faible par exemple pouvant être lié à une mauvaise implantation).

6.2 Paramètres décrivant l'évolution des systèmes agricoles

6.2.1 Cheptels

Les données de cheptel retenues dans les différents scénarios sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Cheptels (en nombre de têtes)

Cheptel	Etat initial	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Ruminants*	27 419 461	13 709 731	27 419 461	23 442 020
Monogastriques**	304 006 141	152 003 071	304 006 141	208 601 663

*Bovins, ovins, caprins

**Porcins, volailles

Source : FranceAgriMer 2021, Agrosolutions

Dans le premier scénario une diminution par deux des cheptels est considérée par rapport à l'état initial. Par souci de simplification, cette hypothèse est appliquée de manière identique aux différentes catégories d'animaux dans ce scénario. Le deuxième scénario considère un maintien des cheptels par rapport à 2020. Ces deux hypothèses sont assez ambitieuses mais elles visent à contraster au maximum les scénarios.

Dans le dernier scénario est appliquée une baisse selon la baisse tendancielle observée ces dix dernières années (2010-2020). Cette baisse tendancielle entraîne une réduction de 15% du cheptel de ruminants et 31% du cheptel de monogastriques à l'horizon 2050. A titre de comparaison, le scénario AMF servant de référence pour l'élaboration de la Stratégie Nationale Bas Carbone est aussi indexé sur la baisse

⁹ Etude ADEME, 2013. Estimation des Gisements Potentiels de substrats utilisables en méthanisation

¹⁰ ONRB 2020

tendancielle observée (sur les 30 dernières années dans ce cas), prévoyant une baisse de 32% du cheptel bovin à l'horizon 2050 par rapport à 2015, une stabilisation pour les volailles et une baisse de 29% pour les porcins. Pour rappel, les chevaux et lapins ne sont pas considérés dans l'étude, ils pourront néanmoins être intégrés dans une mise à jour.

6.2.2 Surfaces cultivées

Le tableau ci-dessous présente les données d'assolement retenues dans les différents scénarios.

Tableau 3 : Surfaces par catégorie de cultures dans les trois scénarios (ha)

Surfaces (ha)	Etat initial	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Céréales (dont maïs grain)	8 908 862	8 014 317	8 596 784	7 979 759
Protéagineux	388 773	468 167	530 748	468 167
Oléagineux (dont soja)	2 120 753	2 214 227	2 307 701	2 214 227
Surface fourragère principale*	14 559 179	15 178 594	14 465 672	15 074 912
<i>dont prairies permanentes**</i>	7 195 757	7 834 466	7 195 757	7 834 466
Couverts d'interculture	NA	7 195 703	3 015 651	7 627 911
<i>dont CIVE d'été</i>	64 020	194 098	82 736	2 019 153
<i>dont CIVE d'hiver</i>	73 920	1 325 495	520 395	2 557 594
Miscanthus	6 400	12 800	6 400	47 360

*Fourrages annuels, prairies non permanentes et Surfaces Toujours en Herbe

**Prairies naturelles ou semées depuis plus de 6 ans

***Hors couverts d'interculture

Sources : Agreste 2020, Agrosolutions

Les évolutions de surfaces (hors couverts d'interculture) sont principalement déterminées par les hypothèses effectuées sur les évolutions des surfaces en protéagineux et en soja. Pour rappel, ces hypothèses sont associées aux ambitions d'autonomie protéique et aux évolutions de cheptels des différents scénarios. Dans le cas d'une augmentation des surfaces en protéagineux et/ou oléagineux, il a été considéré que celle-ci se faisait au détriment des surfaces en céréales et, dans une moindre mesure, de la surface fourragère.

Les scénarios ont été construits à surface constante (en considérant le total des catégories concernées), sans hypothèse sur l'artificialisation des terres (cf. partie 8 sur les limites de l'étude). Ce processus d'artificialisation pourrait cependant affecter chaque décennie 1% de la SAU (Surface Agricole Utile), d'après les tendances observées entre 2010 et 2019¹¹.

6.2.3 Détail des estimations effectuées pour les surfaces en CIVE

Méthode d'estimation pour l'état initial

Faute de données disponibles, une estimation a été faite sur les surfaces actuelles en CIVE. Les résultats de l'enquête AMF effectuée dans le cadre du projet RECITAL ont ainsi été mobilisés¹². Ceux-ci fournissent les surfaces moyennes en CIVE d'été et d'hiver actuellement mobilisées par méthaniseur (respectivement 97 et 112 ha). Les surfaces

¹¹ Source : Agreste 2020

¹² Source : [Projet RECITAL, Enquête AMF Etat des lieux CIVE, 2021, résultats cohérents avec l'étude SEMENCIVE 2020](#)

nationales ont ainsi été estimées à partir du nombre de méthaniseurs agricoles présents en France¹³.

Méthode d'estimation pour les scénarios

Les surfaces en CIVE ont d'abord été évaluées en fonction du potentiel de surfaces pouvant être mises en couverts d'interculture dans les différents scénarios. Après étude des assolements en France métropolitaine sur les données Agreste 2010-2020, il a été estimé une proportion moyenne de 69% de cultures de printemps pour 31% de culture d'hiver. Ce ratio change peu selon les hypothèses d'assolements effectuées dans les scénarios.

Les surfaces en cultures de printemps (et réciproquement en cultures d'hiver) nous fournissent un potentiel de surfaces pouvant être précédées d'une interculture d'hiver (et réciproquement d'été). Il a été alors déterminé dans les différents scénarios une proportion de ces surfaces ayant effectivement en précédent un couvert d'interculture d'hiver (réciproquement, un couvert d'été). On obtient ainsi une estimation des surfaces en couverts d'interculture dans les différents scénarios.

Les hypothèses ont ensuite porté sur la proportion de ces couverts ayant une vocation énergétique, et donc pouvant être qualifiés de CIVE.

Application dans les différents scénarios

Les Tableau 4 et Tableau 5 détaillent les hypothèses effectuées dans chacun des scénarios et les données d'assolement obtenues pour les CIVE d'hiver et d'été. Au global, les hypothèses de surfaces se veulent assez prudentes, en particulier sur les CIVE d'été, avec cependant l'objectif dans les trois scénarios d'une amélioration du taux de couverture des sols permise par ces couverts, et la recherche d'un potentiel maximal dans le scénario 3.

Tableau 4 : Détail des hypothèses et calculs de surface pour les CIVE d'hiver

CIVE d'hiver	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Part de cultures de printemps dans la SAU (%)	31%	31%	40%
Surface en cultures de printemps pouvant bénéficier d'un précédent en interculture d'hiver (Mha)	3,49	3,72	4,49
Part de ces surfaces ayant en précédent un couvert d'hiver (%)	95%	70%	95%
Surfaces en couverts d'interculture d'hiver associée (Mha)	3,31	2,60	4,26
Part de ces surfaces en couverts mise en culture pour un usage énergétique (CIVE) (%)	40%	20%	60%
Surfaces de CIVE d'hiver (Mha)	1,33	0,52	2,56

Dans les hypothèses effectuées, 70 à 95% des surfaces en cultures de printemps bénéficient d'un précédent en couvert d'hiver. A titre de comparaison, d'après les chiffres du ministère de la transition écologique, en 2014, 20% des surfaces en grandes cultures semées au printemps avaient bénéficié d'un précédent cultural en hiver¹⁴.

¹³ Chiffres clés du parc d'unités de méthanisation en France au 1^{er} janvier 2021

¹⁴ Source : Ministère de la transition écologique et solidaire, Commissariat général au développement durable, Environnement & agriculture – chiffres clé édition, juin 2018

Ces hypothèses sont donc ambitieuses, et sont associées à l'ambition climatique des trois scénarios (stockage de carbone dans les sols agricoles via ces couverts d'interculture), avec cependant une certaine prudence exercée sur le scénario 2. Les hypothèses effectuées dans le rapport de France Stratégie considèrent quant à elles que 100% des surfaces potentielles sont implantées en couverts, avec des surfaces potentielles légèrement plus élevées que dans les scénarios 1 et 2 présentés ici (4,5 Mha).

Ces surfaces en interculture d'hiver sont dédiées à un usage énergétique dans 20 à 60% des cas, selon les scénarios. Le retour au sol occupe donc une place importante dans l'usage des couverts. Le scénario 3 est le plus ambitieux sur l'usage énergétique, avec 60% des surfaces en couverts d'interculture étant effectivement des CIVE.

Tableau 5 : Détail des hypothèses et calculs de surface pour les CIVE d'été

CIVE d'été	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Part de cultures d'hiver dans la SAU (%)	69%	69%	60%
Surface en cultures d'hiver pouvant bénéficier d'un précédent en interculture d'été (Mha)	7,76	8,27	6,73
<i>Part de ces surfaces ayant en précédent un couvert d'été (%)</i>	50%	5%	50%
Surfaces en couverts d'interculture d'été associée (Mha)	3,88	4,16	3,37
<i>Part de ces surfaces en couverts mise en culture pour un usage énergétique (CIVE) (%)</i>	5%	20%	60%
Surfaces de CIVE d'été (Mha)	0,19	0,08	2,02

Les hypothèses sur les couverts d'été sont plus conservatrices, pour des raisons de faisabilité technique (difficultés d'implantation, sécheresses estivales et compétition pour la ressource en eau, etc.). Ainsi, selon les scénarios, 5 à 50% des surfaces en cultures d'hiver bénéficient d'un précédent en couvert d'été. Dans le cas du scénario 2, une faible proportion des surfaces est mise en couvert, du fait de la compétitivité induite avec les cultures principales (sur le temps de travail et la ressource en eau par exemple). A noter, dans le cas des couverts d'été, les hypothèses effectuées dans le rapport de France Stratégie considèrent aussi que 100% des surfaces potentielles sont implantées en couverts (7 Mha environ). Les surfaces considérées ici sont donc bien plus faibles, et sont plus proches de celles de la référence ADEME 2013 (3,4 Mha pour les couverts d'été).

Ces surfaces en interculture d'été sont dédiées à un usage énergétique dans 5 à 60% des cas, selon les scénarios. Le scénario 3 est encore une fois le plus ambitieux, avec 60% des surfaces en couverts d'interculture étant effectivement des CIVE.

6.2.4 Niveaux de production

Des coefficients de rendement, présentés dans le Tableau 6, ont été définis afin de pouvoir quantifier des niveaux de production propres à chaque scénario. Ils ont été construits sur la base d'estimation de la part de la SAU en agriculture dite « conventionnelle », en Agriculture Biologique et en « production intégrée » pour chaque scénario. La notion de « production intégrée » couvre ici un modèle agricole visant à limiter l'usage des intrants, qui intégrerait de manière forte des notions

agronomiques telle que la couverture des sols et l'allongement des rotations (sur les principes de l'agriculture régénératrice et de conservation – cf. Glossaire en Annexes).

Ces coefficients ont pour base un état initial fixé à 1. L'ensemble des scénarios a pour hypothèse une diminution des rendements agricoles. Cette hypothèse est conservatrice, mais prend en considération les aléas climatiques de plus en plus fréquents et marqués auxquels devront faire face les systèmes de production. Cette diminution est plus ou moins marquée selon les scénarios. Elle est maximale dans le scénario 1 où l'on estime que les rendements seront davantage affectés notamment par un recours aux intrants moindre et par un abandon progressif de l'agriculture « conventionnelle » au profit d'un fort développement de l'Agriculture Biologique et « intégrée » qui représenteraient chacune 45% de la SAU. Le scénario 3 suit cette même dynamique. Quant au scénario 2, les rendements restent proches de l'état initial malgré une certaine réduction des intrants, du fait d'un maintien d'une ambition productiviste et du développement de technologies (génétique en particulier) compensant les baisses de rendement.

Tableau 6 - Présentation des coefficients de rendement appliqués pour chaque scénario

	Etat initial	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Coefficient de rendement	1	0,76	0,97	0,82

Source : Agrosolutions

6.3 Volume total produit et volume disponible

6.3.1 Effluents d'élevage

Les volumes totaux d'effluents d'élevage produits dépendent du nombre d'animaux et de leur catégorie ainsi que des taux de production en fumier et lisier associés¹⁵. Ces taux de production ont été estimés constants par rapport à l'état initial. L'évolution des volumes produits est ainsi principalement liée à l'évolution des cheptels. Par exemple, dans le scénario 1 où l'on envisage une diminution des cheptels de moitié, le volume total d'effluents produit est divisé par 2.

A ces volumes totaux produits sont associés des taux de récolte qui permettent d'estimer la proportion de fumier et de lisier disponibles. Ainsi, par exemple, les lisiers sont techniquement difficilement mobilisables car ils sont en partie produits au champ. Les fumiers étant produits en bâtiment, ils sont plus facilement récupérables. Dans l'état initial, les fumiers produits sont considérés disponibles à 100%.

Pour chaque scénario, les taux de récolte ont été réévalués selon les évolutions envisagées des systèmes d'élevage (en particulier, le niveau d'intensivité, impactant le temps de présence en bâtiment). Ainsi, pour les fumiers, les taux de récolte ont été diminués par rapport à l'état initial dans les scénarios 1 et 3 afin de prendre en compte l'extensification des élevages (augmentation de l'accès au pâturage/plein air). Ils ont été considérés constants dans le scénario 2. Concernant les lisiers, les taux de récolte sont constants dans le scénario 1, et ont été revus à la hausse uniquement pour les bovins sur les scénarios 2 et 3 (développement des équipements de récolte).

¹⁵ Source mobilisée pour les taux de production d'effluents par catégorie d'animal : FranceAgrimer 2021

Les gisements d'effluents d'élevage produits et disponibles sont présentés dans le Tableau 7. Seul le scénario 2 voit un volume d'effluents disponibles plus important que l'état initial, grâce à une plus grande facilité de récolte des lisiers produits.

Tableau 7 : Volumes totaux d'effluents d'élevage produits et disponibles annuellement

	Volume total d'effluents d'élevage produit (ktMB)				Volume total d'effluents d'élevage disponible (ktMB)			
	Etat initial	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Etat initial	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Fumier	89 055	44 528	89 055	70 895	89 055	26 717	89 055	56 716
Lisier	187 695	93 848	187 695	149 027	46 476	23 238	73 567	46 878
Total	276 751	138 375	276 751	219 922	135 531	49 954	162 622	103 594

6.3.2 CIVE

Les volumes totaux produits des Cultures Intermédiaires à Vocation Énergétique dépendent des surfaces allouées à leur production, présentées en partie 6.2, et de rendements moyens qui leurs sont attribués.

Les rendements des CIVE à l'état initial ont été estimés à partir de données d'expérimentation et d'enquêtes dans différents contextes pédoclimatiques¹⁶ et des rendements utilisés dans les études prospectives nationales¹⁷. Le choix a été fait de sélectionner une valeur moyenne entre des rendements issus des données terrain et des données de références nationales. Les données de terrain présentaient des rendements bien supérieurs aux estimations classiquement utilisées dans les prospectives nationales (par exemple un rendement de production de 8,7 tMS/ha pour les CIVE d'hiver dans l'enquête RECITAL vs 4,3 tMS/ha retenus dans l'étude France stratégie basée sur les travaux de l'ADEME 2013 et 2018). Ceci s'explique probablement par le fait que les données de terrain considèrent des CIVE fertilisées et plus globalement conduites de manière à maximiser le rendement de biomasse.

Pour chaque scénario, les rendements des CIVE ont été réévalués par rapport à l'état initial en appliquant les coefficients de rendements équivalents. Les rendements obtenus sont présentés dans le Tableau 8. Ils sont globalement logiquement diminués pour l'ensemble des scénarios par rapport à l'état initial.

Tableau 8 : Présentation des rendements des CIVE

Rendement (tMS/ha)	Etat initial	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
CIVE d'été	4,7	3,5	4,5	3,9
CIVE d'hiver	6,3	4,7	6,1	5,2

Le Tableau 9 présente les résultats des modélisations effectuées pour les volumes de CIVE produits et disponibles annuellement.

Concernant les volumes produits, ils augmentent dans l'ensemble des scénarios grâce à des surfaces allouées aux CIVE plus importantes qu'aujourd'hui. Les taux de récolte des CIVE ont quant à eux été considérés stables entre l'état initial et les trois scénarios.

¹⁶ Projet RECITAL, projet OPTICIVE, essais OXYANE – Arvalis, données Agrosolutions

¹⁷ ADEME 2013, Etude 100% gaz vert 2018, France Stratégie 2021

Ils ont été fixés à 58% pour les CIVE d'été et 80% pour les CIVE d'hiver¹⁸. Pour rappel, ce taux de récolte, basé sur des données d'enquête du projet RECITAL, est appliqué pour prendre en compte les difficultés rencontrées certaines années pour récolter les CIVE (développement du couvert insuffisant pour couvrir les coûts associés à la récolte, mauvaises conditions de récoltes, etc.).

Sans surprise, les volumes produits et disponibles augmentent pour chaque scénario. Ils sont à leur niveau maximal dans le scénario 3 qui, pour rappel, se centre sur la multifonctionnalité de l'agriculture.

Tableau 9 : Volumes totaux de CIVE produits et disponibles annuellement

	Volume total de CIVE produit (ktMS)				Volume total de CIVE disponible (ktMS)			
	Etat initial	Scenari o 1	Scenari o 2	Scenari o 3	Etat initial	Scenari o 1	Scenari o 2	Scenari o 3
CIVE d'été	301	690	376	7 794	175	400	218	4 520
CIVE d'hiver	465	6 292	3 157	13 186	372	5 034	2 526	10 549
Total	766	6 982	3 533	20 980	547	5 434	2 744	15 069

6.3.3 Résidus de cultures annuelles

Les volumes totaux produits sont calculés suivant le type de ressources observé :

- Pour les pailles et menues pailles, le gisement est fonction de la surface allouée aux différentes catégories de cultures et au rendement paille/menues pailles moyen de chaque culture (céréales, oléagineux et protéagineux, les pailles de ces derniers étant considérées comme 100% restituées au sol pour leur intérêt agronomique).
- La quantité d'issues de silo produite dépend de la production totale de graines de céréales, oléagineux, protéagineux et de la proportion moyenne d'issues de silo générés pour chacune de ces catégories.

Pour l'ensemble de ces catégories de biomasse, les rendements ont été revus entre l'état initial et les 3 scénarios en appliquant les coefficients de rendement équivalent.

De ce fait, les volumes totaux produits de résidus de cultures annuelles sont diminués pour l'ensemble des scénarios, la cause principale étant la diminution du rendement. D'autres facteurs comme l'augmentation des surfaces en protéagineux (dont les volumes produits de pailles sont considérés nuls) au détriment des surfaces en céréales, viennent creuser l'écart.

Les taux de récolte sont considérés stables pour chaque catégorie de biomasse (pailles, issues de silos et menues pailles) par rapport à l'état initial dans chacun des trois scénarios :

¹⁸ Source : [Projet RECITAL, Enquête AMF Etat des lieux CIVE, 2021, résultats cohérents avec l'étude SEMENCIVE 2020](#)

- Pour les pailles de céréales et oléagineux, l'objectif était de conserver un état organique optimal des sols agricoles. Ainsi, le taux de récolte des pailles de céréales (hors maïs) est par exemple de 26%.
- Pour les issues de silo le taux de récolte est fixé à 100%, ce qui signifie que l'ensemble du gisement est considéré comme récupéré pour des usages alimentation animale ou production d'énergie.
- La récolte des menues pailles est à ce jour encore peu développée sur les exploitations agricoles. Elle nécessite du matériel adapté mais présente des avantages certains comme la réduction du stock semencier des parcelles permettant de mieux gérer la pression des adventices. Peu d'études permettent à ce jour de décrire l'état des pratiques à leur sujet. Le taux de récolte dans les trois scénarios a été fixé à 1% à dire d'expert, car la mise en œuvre de la récolte d'ici 2050 ne semble pas réaliste, et l'usage retour au sol privilégié.

Tableau 10 - Volumes totaux de résidus de cultures annuelles produits et disponibles annuellement

	Volume total de résidus de cultures annuelles produit (ktMS)				Volume total de résidus de cultures annuelles disponible (ktMS)			
	Etat initial	Scenari o 1	Scenari o 2	Scenari o 3	Etat initial	Scenari o 1	Scenari o 2	Scenari o 3
Pailles*	52 351	36 064	48 976	39 024	11 477	7 831	10 704	8 470
Menues pailles	14 112	9 704	13 194	10 500	141	97	132	105
Issues de silo	382	264	358	286	382	264	358	286
Total	66 845	46 033	62 528	49 810	12 000	8 192	11 193	8 861

*De céréales (dont cannes de maïs) et d'oléagineux, hors soja

L'ensemble des hypothèses effectuées, tant sur les niveaux de production que sur les taux de récolte des résidus de culture, n'attribuent pas un potentiel important à ce gisement. Les hypothèses restent conservatrices sur le retour au sol de ces matières pour l'intérêt agronomique qu'elles représentent.

6.4 Volume mobilisé et potentiel de production de biométhane

6.4.1 Effluents d'élevage

Les résultats sur les volumes d'effluents mobilisés dépendent des hypothèses effectuées sur les taux de mobilisation dans les différents scénarios, présentés dans le Tableau 11.

Dans le scénario le mieux-disant (scénario 3), le taux de mobilisation pour la méthanisation des effluents d'élevage atteint 60%, au vu du contexte favorable à la production d'énergie et de la disponibilité de ce gisement. Cette hypothèse est ambitieuse au regard de l'état initial, mais se veut prudente par rapport à des taux de mobilisation affichés dans des études similaires. Certains freins à la mobilisation des effluents sont en effet pris en compte ici, en particulier les freins logistiques à la généralisation de la collecte d'effluents pour la méthanisation. A ces freins logistiques s'ajoutent le besoin en matière fertilisante, au regard des incertitudes actuelles sur les incidences sur la fertilité des sols de l'épandage de digestats par rapport à de l'épandage direct des effluents.

Dans le scénario 2, scénario ne plaçant pas la production d'énergie dans les objectifs de production de l'agriculture, les taux de mobilisation sont tout de même poussés à 25%, les effluents étant identifiés comme des ressources relativement disponibles et mobilisables sans porter atteinte au potentiel de production alimentaire. Enfin, le scénario 1 affiche un taux de mobilisation intermédiaire, plutôt ambitieux.

Tableau 11: Taux de mobilisation pour la méthanisation des effluents d'élevage

	Etat initial	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Taux de mobilisation des effluents	2%	50%	25%	60%

Le Tableau 12 détaille pour chacun des scénarios les volumes mobilisés et les potentiels de production de biométhane associés aux effluents d'élevage.

Tableau 12: Volume total mobilisé en méthanisation et potentiel de production de biométhane associé pour les effluents d'élevage

	Volume total mobilisé en méthanisation (ktMB)				Potentiel de production de biométhane (GWh PCI)			
	Etat initial	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Etat initial	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Fumier	1 781	13 358	22 264	34 030	639	4 796	7 993	12 313
Lisier	930	14 479	18 392	31 575	164	2 383	3 130	5 089
Total	2 711	27 837	40 656	65 604	804	7 178	11 123	17 402

Le scénario 3 est ainsi le scénario affichant un potentiel de production maximal, sans surprise (baisse modérée des cheptels et taux de mobilisation importants). Malgré le plus faible taux de mobilisation appliqué, le scénario 2 présente un potentiel de production également important, du fait des hypothèses effectuées sur les cheptels (stabilisation des effectifs) et sur les taux de récolte des lisiers, impliquant des volumes récoltés importants.

Enfin, le scénario 1 affiche un faible potentiel de production de biométhane, lié aux faibles volumes produits.

6.4.2 CIVE

Par définition, le taux de mobilisation des CIVE est de 100% et est inchangé selon les scénarios. Les volumes mobilisés pour la méthanisation sont donc équivalents aux volumes disponibles.

Les évolutions constatées sur les volumes mobilisés et les potentiels de production suivent donc celles des volumes disponibles présentées en partie 6.3, le scénario 3 affichant le potentiel maximal, représentant près de 2.8 fois le potentiel du scénario 1, lui-même affichant un potentiel 2 fois plus élevé que le scénario 2. Au global, les potentiels affichés sont globalement assez élevés du fait des taux de conversion énergétiques intéressants que présentent les CIVE.

Tableau 13: Volume total mobilisé en méthanisation et potentiel de production de biométhane associé pour les CIVE

Volume total mobilisé en méthanisation (ktMS)	Potentiel de production de biométhane (GWh PCI)
---	---

	Etat initial	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Etat initial	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
CIVE d'été	175	400	218	4 520	379	867	472	9 795
CIVE d'hiver	372	5 034	2 526	10 549	806	10 908	5 474	22 859
Total	547	5 434	2 744	15 069	1 184	11 775	5 946	32 654

6.4.3 Résidus de cultures annuelles

Les potentiels de production de biométhane des résidus de culture suivent les évolutions constatées sur les volumes disponibles. En effet, les taux de mobilisation pour la méthanisation ont été considérés comme inchangés dans les différents scénarios pour la plus grande partie du gisement, l'usage litière animal étant privilégié et d'autres usages pouvant se développer en cas d'augmentation du gisement disponible (biomatériaux dans le scénario 1). Les exceptions portent sur des catégories de gisement représentant de faibles volumes mobilisés : les pailles d'oléagineux et les issues de silo. Pour les issues de silo, il a été considéré une augmentation du taux de mobilisation dans les scénarios 1 et 3, la concurrence avec l'usage alimentation animale étant jugée moins forte dans ces scénarios du fait de la baisse des cheptels et de l'extensification des systèmes d'élevage. Ainsi, les taux de mobilisation des issues de silo passent de 40% sur l'état initial à 50% pour le scénario 1 et 80% pour le scénario 3. Ces volumes restent cependant faibles.

Tableau 14: Volume total mobilisés en méthanisation et potentiel de production de biométhane associé pour les résidus de cultures annuelles

	Volume total mobilisé en méthanisation (ktMS)				Potentiel de production de biométhane (GWh PCI)			
	Etat initial	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Etat initial	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Pailles*	1 148	803	1 096	869	2 521	1 741	2 379	1 883
Issues de silo	71	49	66	52	147	101	138	110
Menues pailles	153	127	143	207	379	316	356	513
Total	1 371	979	1 305	1 128	3 047	2 158	2 873	2 506

*De céréales (dont cannes de maïs) et d'oléagineux, hors soja

Les évolutions des potentiels de production de biométhane sont finalement principalement indexées sur les hypothèses effectuées sur les évolutions d'assolement et de rendement dans les trois scénarios. Ainsi, le scénario 2 est le scénario présentant un potentiel maximal. Ce gisement représente au global un faible potentiel, au vu des hypothèses prudentes effectuées sur les taux de mobilisation, tenant compte des compétitions d'usage avec les filières animales.

7. Synthèse des résultats quantitatifs

Le graphique ci-dessous présente les évolutions du potentiel de production de biométhane dans les différents scénarios, par méthanisation de la biomasse agricole disponible pour cet usage.

Pour rappel, l'état initial est une première estimation, basée sur des données de bibliographie et, faute de données existantes, des hypothèses sur les surfaces et rendements en CIVE, ainsi que sur les taux de mobilisation des effluents et des résidus de culture pour la méthanisation.

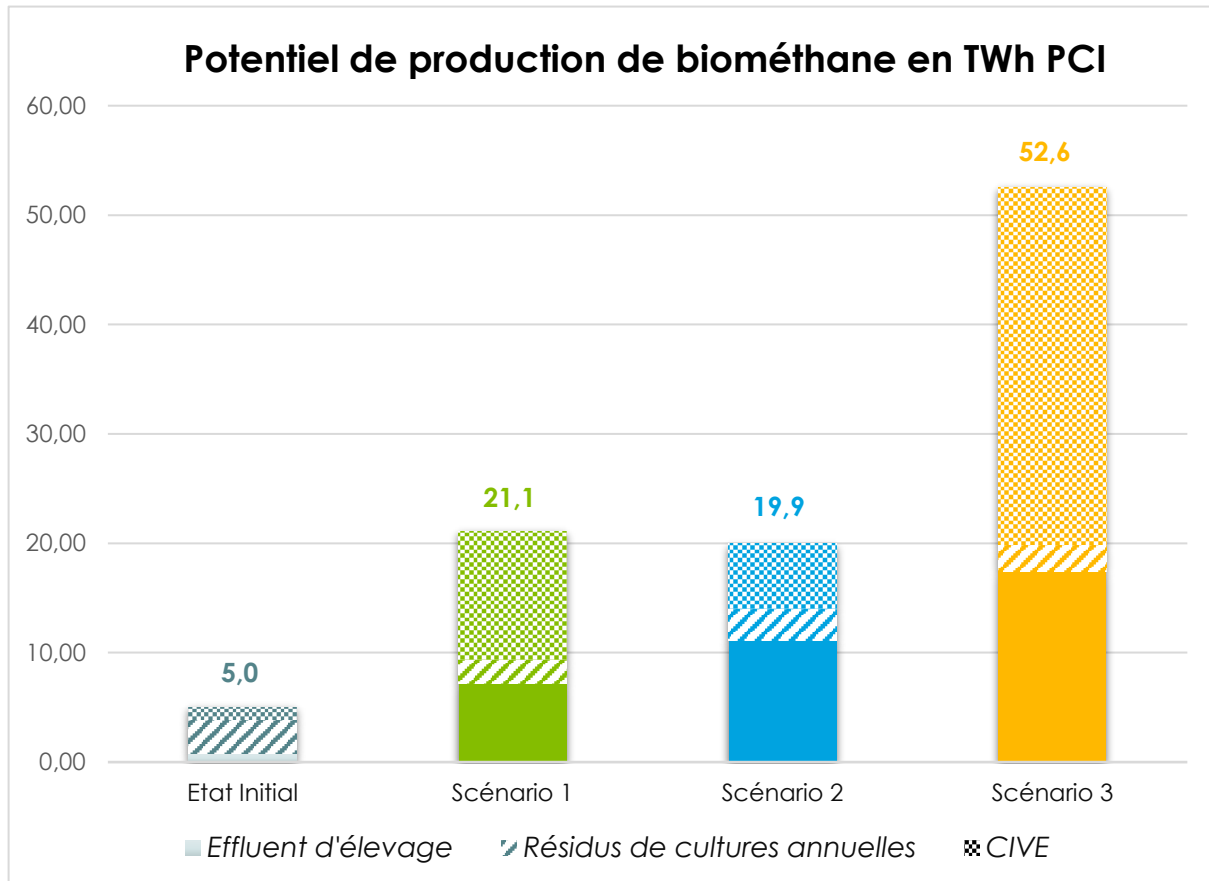


Figure 2: Potentiel de production de biométhane en TWh PCI

Comme attendu, le scénario 3 est le scénario permettant la production d'énergie la plus importante, avec une production de 52,6 TWh, principalement associée à la valorisation des couverts d'interculture pour un usage énergétique (15 Mt MB pour 32,7 TWh produits). Le gisement en effluents d'élevage est aussi à son potentiel maximal dans ce scénario (65 Mt MB pour 17,4 TWh), avec certes une baisse des cheptels (selon le tendancier observé ces dix dernières années) mais un plus fort taux de mobilisation (60%) que dans les autres scénarios. Le scénario 3 illustre donc le potentiel maximal évalué, dans des conditions économiques favorables à la production de biogaz.

A noter, le gisement en résidus de cultures annuelles n'évolue que très peu entre les trois scénarios : les hypothèses de variation de rendement et d'assolement restent peu impactantes, et les taux de mobilisation de ces ressources pour la méthanisation ont été considérés stables entre l'état initial et les scénarios.

Le scénario 1 est un scénario intermédiaire, légèrement plus productif en énergie que le scénario 2, du fait de plus forts taux de couverture des sols et d'un taux de valorisation des couverts pour la bioénergie légèrement plus élevé (5,4 Mt MB de CIVE pour une production de 11,8 TWh).

Enfin, l'énergie produite par méthanisation dans le scénario 2 est principalement associée à un effort de mobilisation des effluents d'élevages (20%), pour des cheptels ne diminuant pas autant que dans les scénarios 1 et 3 (41 Mt MB pour 11,1 TWh produits). Les surfaces en couverts augmentent par rapport à l'état initial, mais sur des niveaux de valorisation inférieurs aux autres scénarios (concurrence et prédominance de la culture principale, usage agronomique privilégié avec des couverts principalement laissés au champ).

8. Limites de l'étude

L'étude réalisée et présentée ici détaille l'évolution possible de l'agriculture à horizon 2050 et le potentiel de production énergétique (par méthanisation) qui pourrait lui être associée. Un maximum de paramètres a été pris en compte mais certains choix ont dû être fait dans un souci de simplification.

Ainsi, comme expliqué dans la partie 6.2, l'artificialisation des terres n'a par exemple pas été prise en compte, bien qu'ayant un impact direct et négatif sur la disponibilité en terres agricoles, entraînant une perte de production et affectant les volumes de biomasse produits. Cependant, l'objectif ambitieux de la loi Climat et résilience (zéro artificialisation nette d'ici 2050) devrait permettre de limiter l'impact sur les surfaces agricoles.

De plus, des hypothèses importantes ont été faites pour pouvoir présenter un état initial de ce que représentent les CIVE actuellement en France, notamment en termes de rendements et de surfaces. A titre d'exemple, les CIVE (i.e. l'usage des surfaces en couverts d'intercultures et cultures dérobées déclarées) ne constituent pas à ce jour une catégorie précise dans les déclarations PAC des agriculteurs. Peu de données sont ainsi collectées à leur sujet. Les hypothèses ainsi présentées mériteront d'être confrontées avec des données complémentaires (cf. perspectives de l'étude). Sur les rendements en CIVE, les hypothèses effectuées sont impactantes et sont basées sur l'analyse de résultats d'expérimentation terrain et les références classiquement utilisées par des études équivalentes (ADEME, France Stratégie). Elles mériteraient d'être affinées et complétées avec une vision plus exhaustive par bassin de production et contexte pédoclimatique.

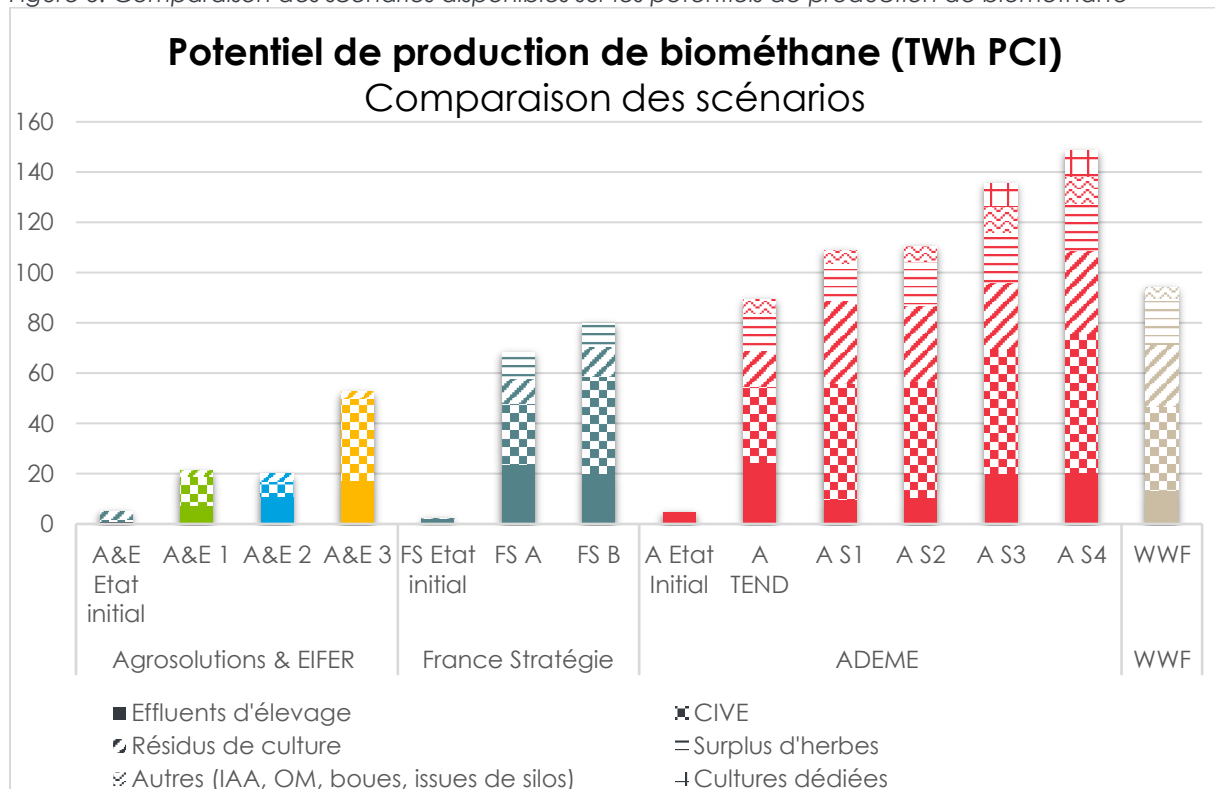
Par ailleurs, la concurrence d'usage avec l'alimentation et la litière animale a été prise en compte avec des hypothèses relativement conservatrices (en faveur des filières animales). Une étude plus poussée (voire régionalisée) des besoins des cheptels et des volumes récoltés de pailles dans les différents scénarios pourrait permettre d'affiner l'estimation du gisement en pailles disponible pour la méthanisation. Cependant, la position des auteurs de l'étude reste d'affecter en priorité un usage retour au sol des résidus de culture, ce qui implique que, même en cas de moindre pression de l'élevage sur la ressource, le gisement disponible pour la méthanisation n'évoluerait que peu. Cette hypothèse conservatrice laisse aussi le champ libre à d'autres usages, non pris en compte dans l'étude, comme la combustion ou les biomatériaux.

Enfin, l'analyse des déterminants économiques à l'atteinte des potentiels de production affichés dans les trois scénarios n'a été faite que de manière qualitative, à dire d'expert. Les scénarios gagneraient à être enrichis d'une analyse quantitative des conditions économiques qu'ils impliquent (estimation du prix de revient des CIVE au vu des rendements affichés, prix de revient du biogaz, prix de revient des engrais et du digestat, etc.).

9. Mise en perspective avec les projections existantes

Une comparaison de l'étude avec les scénarios proposés par France Stratégie¹⁹, l'ADEME²⁰ et le WWF²¹ a été effectuée. Globalement, les scénarios proposés dans cette étude présentent des potentiels de production de biométhane inférieurs aux autres projections. Les ordres de grandeur restent cependant cohérents : entre 20 et 53 TWh pour les scénarios de la présente étude, contre 58 et 109 TWh (en n'incluant que les ressources de biomasse considérées dans cette publication).

Figure 3: Comparaison des scénarios disponibles sur les potentiels de production de biométhane



N.B.1 Les scénarios de France Stratégie et WWF considèrent un potentiel de production de biométhane exprimé en TWh PCS. Pour comparer plus facilement les scénarios, les données ont été converties en TWh PCI en appliquant le ratio PCS/PCI de 1,111.

N.B.2 Les biomasses apparaissant en grisé (surplus d'herbes, cultures dédiées, autres) sont celles qui n'ont pas été considérées dans la présente étude (car considérées comme non mobilisables dans le cas des surplus d'herbes et cultures dédiées, et hors périmètre dans le cas de la catégorie « autres ») ; le gisement des issues de silo a été considéré dans la catégorie « résidus de cultures » dans la présente étude.

¹⁹ Mourjane I., Fosse J. (France Stratégie), *Biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel énergétique ?*, 2021

²⁰ ADEME, Rapport Transition(s) 2050, Choisir maintenant, agir pour le climat, 2022

²¹ WWF, Biomasse : un réel potentiel pour la transition énergétique ?, 2022

Les scénarios de l'ADEME proposent des potentiels de production de biométhane supérieurs à ceux des autres scénarios prospectifs. Dans tous ses scénarios, l'ADEME cherche en effet à atteindre la neutralité carbone en 2050 et mise ainsi sur des taux de mobilisation et des niveaux d'implantation pour la méthanisation bien supérieurs à ceux pratiqués. Son scénario tendanciel (TEND) est très proche des scénarios proposés par France Stratégie.

Le scénario 3 présenté dans ce rapport atteint un potentiel équivalent à certains scénarios des autres études, notamment le scénario tendanciel de France Stratégie (A), ainsi que celui de l'ADEME. Les scénarios 1 et 2 offrent des résultats bien inférieurs à ceux des autres études. La différence d'estimation se situe principalement au niveau du potentiel attribué aux cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE) et au niveau de la mobilisation des résidus de cultures.

Concernant les effluents d'élevages, les différentes études présentent des potentiels de biométhane productible du même ordre de grandeur. Ils se différencient par des niveaux de production différents (liés aux hypothèses faites sur les baisses de cheptel), mais aussi par des différences de taux de mobilisation, eux-mêmes liés à des hypothèses faites sur les types d'élevage (plus ou moins grande facilité de mobilisation) et les contraintes techniques de la filière méthanisation. Les potentiels attribués aux effluents dans le scénario 3 de la présente étude sont assez équivalents à ceux des scénarios TEND, S3 et S4 de l'ADEME, ainsi qu'à ceux proposés par France Stratégie. Les taux de mobilisation des effluents les plus importants sont proposés par France Stratégie (80%), ceux de la présente étude allant de 25 à 60% et ceux de l'ADEME de 20 à 35%. Les scénarios S1 et S2 de l'ADEME rejoignent le scénario 1 d'Agrosolutions et Eifer, avec des hypothèses d'une exploitation plus extensive et une réduction du cheptel. Il semble que ces deux hypothèses soient cependant légèrement moins contrastées côté ADEME puisque la valeur finale reste comparable malgré des taux de mobilisation inférieurs.

Pour les CIVE, le scénario 3 d'Agrosolutions et Eifer se rapproche des valeurs de France Stratégie. France stratégie considère 100% des surfaces potentielles implantées en couverts dans son scénario B, avec des niveaux de rendements assez faibles (1 à 3,1 t MS /ha), prenant en compte le fait que toutes ces cultures ne sont pas récoltées et exportées pour l'énergie. Les résultats sont équivalents malgré le fait que les hypothèses de surfaces et production de la présente étude soient tout autres : moins de surfaces mises en couvert, dont seulement une fraction est dédiée à l'énergie, mais sur ces surfaces cultivées en tant que CIVE, rendement récolté (prenant en compte le taux de récolte) plus élevé (4,5 à 7 t MS). L'ADEME considère des niveaux de rendements assez équivalents à ceux de la présente étude, les variations entre les estimations s'expliquent donc par des hypothèses sur les surfaces en couverts, qui s'avèrent assez conservatrices dans cette étude dans le cas des couverts d'été.

Pour les résidus de culture, selon France Stratégie, la possibilité de valoriser les protéagineux et fanes de betteraves reste plutôt faible, conformément à notre étude. Pour les autres ressources de résidus de culture (paille de céréales, d'oléagineux, cannes de maïs) le scénario B est plus prudent que le A en raison des baisses de rendement envisagées. Pour autant lorsque l'on compare les volumes disponibles, l'étude France Stratégie présente le même ordre de grandeur que l'étude

Agrosolutions et EFER, la différence provenant principalement du taux de la mobilisation et la valorisation en méthanisation. Ainsi, le potentiel méthanisable des résidus de culture de France Stratégie est supérieur à celui d'Agrosolutions et Eifer. De son côté, le WWF a choisi de limiter la mobilisation des résidus de culture à 30%, considérant des problèmes agronomiques (liés à la perte de matière organique en surface) et une perte probable de biodiversité microbologique des sols. Ce taux de mobilisation dédié à la méthanisation, restant bien supérieur à celui considéré dans cette étude, explique le potentiel important des résidus de culture dans le scénario du WWF. De son côté, l'ADEME considère que les pratiques agricoles évolueraient pour mieux récolter, transporter et stocker les résidus de cultures en vue de les méthaniser et prévoit ainsi une mobilisation en méthanisation de 100% dans tous ses scénarios pour l'export d'un tiers de la production de pailles (ce qui rejoint l'hypothèse WWF). France Stratégie fait le constat que cette ressource fait déjà l'objet de plusieurs usages et pourrait être à l'origine de tensions dans le futur. C'est la raison pour laquelle les résidus de cultures offrent un plus faible potentiel dans les scénarios de France Stratégie par rapport à ceux de l'ADEME, hormis pour le scénario tendanciel de l'ADEME.

10. Conclusion et perspectives

Les scénarios et résultats proposés ici constituent une première approche dont la pertinence et la complétude ont vocation à être complétés par des études complémentaires.

Ces travaux restent une première proposition d'acteurs du monde agricole destinée à ouvrir la discussion avec l'ensemble des acteurs de la filière. Avec le triple objectif d'assurer une sécurité alimentaire nationale, un revenu décent pour l'agriculteur et lutter contre le changement climatique, le secteur agricole pourra contribuer à la décarbonation via une production de biométhane à hauteur de 20 à 53 TWh selon les scénarios, ce qui est moins optimiste que les scénarios existants.

Les échanges qui suivront pourront permettre d'affiner certaines trajectoires, en prenant toujours en compte la faisabilité technique et économique des évolutions projetées. Par la suite nous verrons comment introduire de nouvelles hypothèses pour enrichir les scénarios, et préciser en particulier les interactions entre bassins de productions selon leurs évolutions respectives.

Des études régionales - dans l'immédiat une étude à venir dans le Grand Est - pourront permettre de préciser certains déterminants techniques et économiques de mobilisation de la biomasse agricole, et intégrer plus précisément les compétitions d'usage (en particulier CIVE et cultures alimentaires). Par des études de cas et la remontée de données de terrain, l'objectif sera ainsi d'identifier des trajectoires d'évolution propres à certains territoires et de préciser certaines hypothèses effectuées à l'échelle nationale.

11. Bibliographie

ADEME, Arvalis, Terres Univia, Terres Inovia, euralis, OPTICIVE Optimisation de la mobilisation de CIVE pour la méthanisation dans les systèmes d'exploitation, Rapport final, 2019

ADEME, Deloitte, AILE et Alterra Wageningen, Mobilisation de la biomasse agricole, 2016

ADEME, i care, Blezat Consulting, CERFRANCE, Cereopa, Agriculture et énergies renouvelables : contributions et opportunités pour les exploitations agricoles, Rapport final de mission, février 2018, 205 p.

ADEME, GRDF et GRTgaz, Etude Un mix de gaz 100% renouvelable en 2050, 2018

ADEME, SOLAGRO et INDIGGO, Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation, rapport final, 2013, 117p

Agrete, Statistique agricole annuelle, 2010 à 2020

Agrete, Mémento de la statistique agricole, 2020

Arvalis, Association des Agriculteurs Méthaniseurs de France, CAVAC, Chambres d'agriculture, Engie, Euralis, Initiatives énergie environnement (Aile), Oxyane - Projet RECITAL, Enquête AMF Etat des lieux CIVE, 2021, webinaire du 16 mars 2021

Arvalis, Oxyane, résultats d'essais CIVE, 2019 et 2020, Synthétisés dans l'article Terrenet « Cive : l'espèce et l'itinéraire technique sont les clés d'un bon rendement »

Biomasse Normandie, Evaluation des quantités actuelles et futures des déchets épandus sur les sols agricoles et provenant de certaines activités ; Lot 3 : effluents d'élevage, 2003

Couturier C., Charru M., Doublet S., Pointereau P., Afterres 2050, Solagro, 2016

FranceAgriMer, ONRB, Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France, 2020

FranceAgriMer, Tables d'estimation du gisement "Effluents d'élevage" - Observatoire Biomasse, 2021

Institut de l'élevage, Chiffres clés bovins, 2020

Institut de l'élevage, Chiffres clés caprins, 2020

Institut de l'élevage, Chiffres clés ovins, 2020

Marsac S., Chavassieux D. projet OPTICIVE, Comment raisonner une culture intermédiaire pour la méthanisation ? – colloque ADEME du 9 avril 2019

Ministère de l'écologie et du développement durable, Evaluation des quantités actuelles et futures des déchets épandus sur les sols agricoles et provenant de certaines activités - Lot 3 : effluents d'élevage, Rapport final, 2002

Ministère de la Transition écologique, Stratégie française pour l'énergie et le climat. Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023, 2024-2028, novembre 2020, 399 p.

Ministère de la Transition écologique, Stratégie nationale bas-carbone. La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone, mars 2020, 192 p.

Marx I. (WWF France), Méthanisation agricole : quelles conditions de durabilité de la filière en France ?, rapport, mars 2020, 44 p.

Mourjane I., Fosse J. (France Stratégie), Biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel énergétique ?, 2021

Pellerin S. et al (INRAE), Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 2019, 114 p.

Poux X. (ASCA, Iddri), Aubert P.-M. (Iddri) Une Europe agroécologique en 2050 : une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine, 2018

SER, GRDF, GRTgaz, SPEGNN, Teréga, Panorama des gaz renouvelables en 2021

RMT Biomasse, Filière méthanisation - Recommandations sur l'approvisionnement en biomasse agricole, octobre 2016

12. Annexes

12.1 Glossaire

- **Agriculture Biologique** : mode de production agricole excluant l'emploi de substances de synthèse, tels que les pesticides, les médicaments ou les engrais de synthèse, et d'organismes génétiquement modifiés (Insee).
- **Agriculture de conservation** : définie par la FAO en 2001 comme une agriculture combinant la couverture maximale des sols, l'absence de travail du sol et la diversification des espèces cultivées, permettant d'obtenir « un agroécosystème dans lequel les régulations écologiques permettent de diminuer l'artificialisation du milieu (intrants, travail du sol), mais cela suppose des changements profonds dans la conduite des systèmes de culture par rapport à l'agriculture conventionnelle. » (INRAE, L'agriculture de conservation, 2020)
- **Agriculture régénératrice** : « approche de l'agriculture qui utilise la conservation des sols comme point d'entrée pour régénérer les écosystèmes et contribuer à la régulation et au soutien des services écosystémiques, dans le but d'améliorer non seulement les dimensions environnementales, mais aussi sociales et économiques d'une production alimentaire durable » (Giller, K. et al., 2021).
- **Culture principale** : culture de la parcelle qui est soit présente le plus longtemps sur un cycle annuel, soit identifiable entre le 15 juin et le 15 septembre sur la parcelle, en place ou par ses restes, soit commercialisée sous contrat (Décret n°2016-99 du 7 juillet 2016 pris pour l'application de l'article L 541-39 du code de l'environnement)
- **Culture intermédiaire** : culture qui est semée et récoltée entre deux cultures principales
- **Couvert d'interculture** : aussi appelées cultures intermédiaires, les couverts d'interculture sont cultivés entre la récolte d'une culture principale et le semis de la culture suivante. Elles présentent de nombreux intérêts agronomiques grâce à la couverture du sol qu'elles offrent.
- **CIVE - Culture Intermédiaire à Vocation Energétique** : culture intermédiaire implantée et récoltée en vue d'assurer un approvisionnement en substrats d'unités de méthanisation
- **SAU** : Surface Agricole Utile

12.2 Potentiel énergétique des ressources agricoles

Source : ADEME 2013, Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation

Catégorie	Produit	m ³ (CH ₄)/tMS	MS/MB	m ³ (CH ₄)/tMB
CIVE été	CIVE été	218	0,22	48
CIVE hiver	CIVE hiver	218	0,22	48
Autres céréales	Issues de silos	250	0,88	220
Autres céréales	Menues pailles	210	0,88	185
Autres céréales	Pailles de céréales	221	0,88	194
Blé tendre	Issues de silos	250	0,88	220
Blé tendre	Menues pailles	210	0,88	185
Blé tendre	Pailles de céréales	221	0,88	194
Maïs grain et maïs semence	Issues de silos	250	0,88	220
Maïs grain et maïs semence	Menues pailles	210	0,88	185
Maïs grain et maïs semence	Pailles de céréales	243	0,88	214
Orge et escourgeon	Issues de silos	250	0,88	220
Orge et escourgeon	Menues pailles	210	0,88	185
Orge et escourgeon	Pailles de céréales	221	0,88	194
Autres oléagineux	Issues de silos	250	0,88	220

Autres oléagineux	Menues pailles	210	0,88	185
Colza	Issues de silos	250	0,88	220
Colza	Menues pailles	210	0,88	185
Colza	Pailles d'oléagineux	117	0,88	103
Soja	Issues de silos	250	0,88	220
Soja	Menues pailles	210	0,88	185
Tournesol	Issues de silos	250	0,88	220
Tournesol	Menues pailles	210	0,88	185
Tournesol	Pailles d'oléagineux	253	0,88	223
Autres bovins de moins de 1 an	Fumier	168	0,17	29
Autres bovins de moins de 1 an	Lisier	160	0,10	16
Bovins de 1 an ou plus	Fumier	168	0,17	29
Bovins de 1 an ou plus	Lisier	160	0,10	16
Vaches allaitantes	Fumier	168	0,17	29
Vaches allaitantes	Lisier	160	0,10	16
Vaches laitières	Fumier	168	0,17	29
Vaches laitières	Lisier	160	0,10	16
Caprins	Fumier	184	0,45	83
Ovins	Fumier	192	0,30	58
Autres porcins	Fumier	192	0,30	58
Autres porcins	Lisier	232	0,05	12
Truies reproductrices de plus de 50 kg	Fumier	192	0,30	58
Truies reproductrices de plus de 50 kg	Lisier	232	0,05	12
Volaille	Fumier	240	0,60	144
Volaille	Lisier	240	0,15	36

12.3 Taux d'humidité et de récolte

Catégorie	Produit	Taux de récolte		MS/MB
Blé tendre	Issues de silos	1,00		0,88
Autres céréales	Issues de silos	1,00		0,88
Maïs grain et maïs semence	Issues de silos	1,00		0,88
Orge et escourgeon	Issues de silos	1,00		0,88
Blé tendre	Menues pailles	0,01		0,88
Autres céréales	Menues pailles	0,01		0,88
Maïs grain et maïs semence	Menues pailles	0,01		0,88
Orge et escourgeon	Menues pailles	0,01		0,88
Blé tendre	Pailles de céréales	0,26		0,88
Autres céréales	Pailles de céréales	0,26		0,88
Maïs grain et maïs semence	Pailles de céréales	0,14		0,88
Orge et escourgeon	Pailles de céréales	0,26		0,88
CIVE été total	CIVE	0,58		0,22
CIVE hiver total	CIVE	0,80		0,22
Autres bovins de moins de 1 an	Fumier	1,00		0,17
Bovins de 1 an ou plus	Fumier	1,00		0,17
Vaches allaitantes	Fumier	1,00		0,17
Vaches laitières	Fumier	1,00		0,17
Caprins	Fumier	1,00		0,45
Ovins	Fumier	1,00		0,3
Autres porcins	Fumier	1,00		0,3
Truies reproductrices de plus de 50 kg	Fumier	1,00		0,3
Volaille	Fumier	1,00		0,6
Autres bovins de moins de 1 an	Lisier	0,12		0,1

Bovins de 1 an ou plus	Lisier	0,12	0,1
Vaches allaitantes	Lisier	0,12	0,1
Vaches laitières	Lisier	0,12	0,1
Caprins	Lisier	0,00	Non valorisé
Ovins	Lisier	0,00	Non valorisé
Autres porcins	Lisier	0,99	0,05
Truies reproductrices de plus de 50 kg	Lisier	0,99	0,05
Volaille	Lisier	1,00	0,15
Colza	Graines d'oléagineux	0,98	0,11
Colza	Issues de silos	1,00	0,88
Autres oléagineux	Issues de silos	1,00	0,88
Soja	Issues de silos	1,00	0,88
Tournesol	Issues de silos	1,00	0,88
Colza	Menues pailles	0,01	0,88
Autres oléagineux	Menues pailles	0	0,88
Soja	Menues pailles	0	0,88
Tournesol	Menues pailles	0	0,88
Colza	Pailles d'oléagineux	0,07	0,88
Autres oléagineux	Pailles d'oléagineux	0,07	0,91
Tournesol	Pailles d'oléagineux	0,07	0,88
Betterave industrielle	Fanes de betteraves	0,00	0,16

12.4



European Institute
for Energy Research
by EDF and KIT



KIENER Mathilde

mkiener@agrosolutions.com

LANCKRIET Edouard

elanckriet@agrosolutions.com

PALVADEAU Juliette

jpalvadeau@agrosolutions.com

RABOT-QUERCI Marie-Laure

marie-laure.rabot-querci@eifer.org