

Audit de l'OPECST : Note de synthèse du CNRS et de ANCRE sur la production d'énergie dans le secteur agricole

Jean-Michel Most¹, Directeur de recherche émérite au CNRS – INSIS

Co-animateur avec Laurent Forti (IFPEN) du Groupe Programmatique n°8 « Industries et
Agriculture » de ANCRE

Ce document est la synthèse de différents documents² consacrés à la production d'énergie dans le domaine de l'agriculture française. Son but était de fournir une vision à l'OPECST sur les potentiels actuels, les opportunités et les menaces qui pèsent sur la filière, ainsi que d'identifier les verrous et besoins de recherche pour améliorer l'efficacité Énergétique dans le secteur agricole en vue d'obtenir une indépendance énergétique et la neutralité carbone tout en améliorant les revenus des exploitants.

1 Préambule

La production d'énergies renouvelables (EnR) par le domaine agricole, acteur économique toujours fortement dépendant des énergies fossiles, est une opportunité pour satisfaire une partie des besoins énergétiques verts du pays. Actuellement (2018), les EnR ne couvrent que 4% la demande énergétique de l'agriculture ; elles proviennent pour 38% du bois forestier, 26% du bois de bocage et pour 23% des résidus agricoles paille et cultures dédiées.

Ce document a pour objectif d'évaluer, d'une part, les contributions directe et indirecte de l'agriculture dans la production d'EnR, maintenant, et à l'horizon 2013, 2030, et 2050 où la neutralité carbone devrait être atteinte, et, d'autre part, d'estimer les potentiels d'économies d'énergie en améliorant l'**Efficacité Énergétique (EE)** des procédés agricoles.

Pour cela, il semble opportun d'adopter une approche globale de la transition énergétique en examinant à la fois la production énergétique fossile et EnR, la réduction de la demande, la garantie d'une indépendance énergétique, la protection de l'environnement avec une diminution des rejets de gaz à effet de serre (GES) - dioxyde de carbone et oxydes d'azote - tout en préservant l'économie et le social. Cette approche à court terme devra intégrer un accroissement de l'EE dans la ferme (bâtiments, serres et laiterie), le matériel (tracteurs, engins agricoles), la production animale (aliments), la production végétale (engrais, produits phytosanitaires) et l'irrigation afin que les exploitations agricoles puissent tendre vers une auto-suffisante énergétique neutre en carbone.

C'est donc sur l'amélioration de l'EE dans le secteur agricole que le CNRS et ANCRE³ (Groupe Programmatique n°8 « Industries et Agriculture ») ont choisi d'identifier les besoins de recherche dans les secteurs industriels et agricoles.

¹ Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et technologiques

² Documents du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et de l'ADEME

³ Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie - www.allianceancre.fr

2 Les énergies renouvelables : Opportunités et Menaces

2.1 Les opportunités

Le secteur agricole possède de réels atouts pour contribuer à la production d'énergies renouvelables. Il possède des ressources énergétiques et des surfaces disponibles, ou potentiellement disponibles, pour se convertir vers des cultures énergétiques dédiées (biomasse pour la production de biocarburants), valoriser les déchets d'élevage, de végétaux et forestiers (fabrication de biogaz, chaleur et cogénération chaleur – électricité par combustion). De plus, ce secteur a la possibilité de se diversifier vers des systèmes de production d'électricité renouvelable (éolien, photovoltaïque (PV)).

Une autre opportunité du secteur est d'avoir la possibilité de contribuer au principal challenge du siècle à savoir atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 pour la France, pour le territoire et même pour l'exploitation. Pour cela, l'agriculture doit réduire à la fois ses besoins énergétiques grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique (EE) de ses procédés et diminuer drastiquement ses émissions de gaz à effet de serre (GES). Ce scénario devra permettre simultanément de créer de la richesse, de l'emploi, et améliorer le niveau de vie des agriculteurs.

La Figure 1 montre l'évolution du mix énergétique de production des EnR dans le secteur agricole. Cette analyse prospective montre que la contribution à la production d'EnR pourrait être multipliée par 2 entre 2015 et 2030 et par 3 entre 2015 et 2050 en passant de 4,5 Mtep à 15,8 Mtep (Mtep = Million tonnes équivalent pétrole, 1tep = 11630 kWh). Selon les hypothèses de cette analyse, c'est l'éolien et le biogaz (méthanisation) qui deviendraient les premières énergies renouvelables issues du secteur agricole, suivies par la production photovoltaïque.

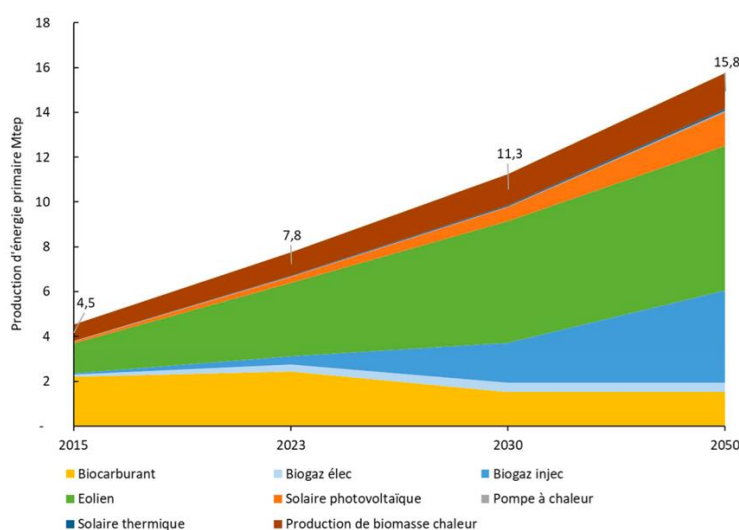


Figure 1: Évolution du mix énergétique de production des EnR dans le secteur agricole⁴

Les facteurs multiplicatifs de production de EnR à l'horizon 2050 impose un soutien massif d'investissements pour augmenter les ressources et accroître l'EE.

La Figure 2 montre une prospective sur le rythme annuel moyen calculée sur la base de l'évolution de la production d'EnR tous secteurs confondus telle que prévue par les politiques publiques et sur la part actuelle d'EnR issues du secteur agricole.

⁴ Document ADEME - Agriculture et énergies renouvelables : contributions et opportunités pour les exploitations agricoles – Rapport final de mission

Type d'EnR	Capacité 2015	Objectif 2023	Objectif 2030	Objectif 2050
Production de biomasse pour les biocarburants	2 308 ktep	2 604 ktep	3 000 ktep	3 000 ktep
Biogaz cogénération	440 ktep	1 283 ktep	1 548 ktep	1 548 ktep
Biogaz injection de biométhane	135 ktep	800 ktep	3 000 ktep	5 600 ktep
Eolien terrestre	10,3 GW	24 GW	34 GW	40 GW
Photovoltaïque	6,2 GW	19 GW	33 GW	65 GW
Pompe à chaleur	1 840 ktep	3 475 ktep	4 800 ktep	7 100 ktep
Solaire thermique	92 ktep	335 ktep	1 000 ktep	1 700 ktep
Production de biomasse	9 384 ktep	13 500 ktep	18 000 ktep	21 000 ktep

Figure 2 : Capacité de production d'EnR française et objectifs aux horizons 2023, 2030, 2050⁵

En ktep	2015	2023	2030	2050
Biocarburants biomasse	2 208	2 436	1 510	1 510
Biogaz cogénération	97	320	418	418
Biogaz injection de biométhane	51	350	1 795	4 129
Eolien	1 341	3 288	5 432	6 439
Solaire photovoltaïque	81	270	613	1 504
Pompes à chaleur (géothermie et aérothermie)	13	28	40	63
Solaire thermique	3	13	44	81
Biomasse chaleur	738	1 061	1 398	1 619
Total ENR agricole	4 532	7 765	11 250	15 763

Figure 3 : Évolution du mix énergétique de production des EnR dans le secteur agricole (Mtep)⁵

La Figure 3 quantifie l'évolution du mix énergétique de production des EnR par le secteur agricole. On observe un facteur multiplicatif variant de 4 à 80 pour la production d'EnR, sauf pour les végétaux dédiés à la fabrication du biocarburant. La décroissance de la fabrication des biocarburants peut s'interpréter par l'importation de biomasse (huile de palme, canne à sucre) et une diminution de la demande de carburant pour les transports liée à la motorisation électrique des véhicules.

Pour conclure, l'accroissement de la production d'EnR est liée, d'une part à la valorisation des déchets agricoles (biogaz, biomasse chaleur) et d'autre part à l'installation sur les terres et sur les bâtiments agricoles de systèmes de production directe de chaleur (combustion, solaire thermique) et d'électricité (éolien, PV).

2.2 Les menaces :

Quelques facteurs doivent être pris en compte pour évaluer le développement des EnR.

2.2.1 Les facteurs sociétaux

La première demande des agriculteurs est une nette amélioration de leur rémunération de leur travail. Si la globalisation contrôle les prix des denrées pour l'alimentation humaine et animale, la transition vers le bio (difficile à quantifier énergétiquement mais qui pourrait présenter un bilan équilibré grâce à la diminution des intrants et l'augmentation du travail de la terre) et la réduction des frais d'exploitation devraient permettre de rééquilibrer leurs comptes financiers. La seconde voie d'augmentation des revenus agricoles est l'accroissement de la taille des exploitations.

⁵ Document ADEME - Agriculture et énergies renouvelables : contributions et opportunités pour les exploitations agricoles – Rapport final de mission

Même si une politique incitative est déployée pour la production d'EnR en garantissant un revenu juste aux agriculteurs, il semblerait qu'une majorité de ces derniers, surtout la jeune génération, manifeste toujours leur intérêt pour nourrir la population par la vente de beaux et bons produits, même si, simultanément, ils se comportent comme des chefs d'exploitation très sensibilisés par le prix des céréales à Chicago !

Enfin, pour augmenter leur salaire, les agriculteurs cherchent à se diversifier en réaffectant une partie de leurs surfaces. Ainsi, ils s'équipent et exploitent, ou louent, des unités de production d'électricité (éoliennes ou capteurs photovoltaïques installés sur des toitures de bâtiments ou sur leurs surfaces agricoles (sous certaines conditions)). L'agriculture participe ainsi à la production, l'autoconsommation et la vente directe d'EnR.

2.2.2 Les facteurs environnementaux

Le principal atout de l'agriculture pour les EnR est la possession de surfaces. La France, comme la plupart des pays, manque de terres cultivables, aussi pour accroître leur revenu, les exploitations agricoles ont la possibilité d'augmenter leur superficie bien que l'esprit français ne tende pas actuellement vers la création de fermes usine. Le foncier disponible risque donc de jouer un rôle prépondérant sur l'équilibre nécessaire entre les productions agricoles alimentaires et énergétiques.

Si la majorité des exploitations utilisent des méthodes d'agriculture conventionnelle, il semblerait que la nouvelle génération de paysans s'oriente vers des cultures plus respectueuses de l'environnement en réduisant les intrants chimiques (les engrais sont des dérivés d'hydrocarbures fossiles : méthane => ammoniacal => engrais azotés) et en privilégiant l'emploi de traitements phytosanitaires naturels. Les agriculteurs sont également sensibles à la préservation de la biodiversité et à la gestion des ressources en eau.

Le scénario d'une augmentation de la production agricole énergétique va demander une réaffectation des sols au risque d'une concurrence d'usages entre l'alimentaire et l'énergétique, un accroissement évident des rendements avec une culture quasi-industrielle sur des grandes surfaces, donc une introduction souvent massive d'engrais (potentiels d'émission d'oxydes d'azote (GES)) et de produits phytosanitaires chimiques, ainsi qu'un besoin d'eau même si les plantes énergétiques classiques de substitution (miscanthus, switchgrass, taillis à courte rotation) exigent moins d'irrigation, de main-d'œuvre et d'intrants. Potentiellement l'emploi de variétés OGM s'avère également une donnée technologique à prendre en compte pour optimiser génétiquement le rapport carbone/hydrogène (C/H). Et que dire de l'acceptation par les populations ?

2.2.3 Synthèse sur le bilan énergétique agricole

Le bilan entre opportunités et menaces pour la production énergétique montre que le potentiel agricole proprement dit est limité par des facteurs environnementaux et sociétaux, aussi l'amélioration de l'EE permettrait une indépendance plus importante aux énergies fossiles aidant à atteindre à terme un bilan carbone neutre.

Certaines opérations devraient pouvoir améliorer l'EE pour réduire les frais d'exploitation et donc augmenter les revenus de l'agriculteur. Par exemple, le remembrement de parcelles, sans destruction des taillis, biodiversité oblige, réduirait les trajets ferme-champ qui peuvent parfois atteindre 30km, l'acquisition de matériels plus adaptés aux besoins et plus sobres en énergie, une gestion et une valorisation optimisée des ressources bois, lisiers, paille, etc. diminueraient les besoins énergétiques de l'exploitation.

L'agriculture numérique et la diversification vers une production complémentaire d'électricité renouvelable complètent l'arsenal énergétique à disposition.

3 Les énergies renouvelables issues de l'agriculture

3.1 Les biocarburants

Un biocarburant est un carburant issu de la biomasse, c'est-à-dire obtenu à partir d'une matière première végétale, animale ou de déchets. Les biocarburants sont en général mélangés à des carburants d'origine fossile mais peuvent dans certains cas être utilisés comme seule source de carburant (biométhane, bioéthanol).

3.1.1 Les différentes générations de biocarburants

On distingue trois générations de biocarburant se distinguant habituellement par la matière première.

3.1.1.1 La 1^{ère} génération

Elle traite l'huile, l'amidon, le sucre généralement issus de produits agricoles classiques (Colza, Blé, Maïs, Betterave...) pour une transformation vers du bioéthanol ou du biodiésel. Il peut s'agir également de certains coproduits ou déchets tels que les marcs de raisins, les graisses animales, les huiles usagées provenant principalement du secteur agro-alimentaire.

3.1.1.2 La 2^e génération

Elle valorise les composés lignocellulosiques (bois), issus de l'agriculture ou de la sylviculture. Les procédés ne sont pas encore totalement matures. Ils nécessitent une pyrolyse ou une combustion ménagée de la ressource pour former du monoxyde de carbone et de l'hydrogène (CO, H₂), appelés gaz de synthèse. Puis un traitement (réaction Fischer Tropsch) et un raffinage conduisent à des hydrocarbures.

3.1.1.3 La 3^e génération (G3)

Elle utilise de la biomasse généralement issue de la culture d'algues ou de cyanobactéries. Elle ne concerne a priori pas ou très peu le secteur agricole. Un des spécialistes au CNRS dans ce domaine est Jack Legrand qui peut être contacté au (jack.legrand@univ-nantes.fr, tel : 062498060).

Filière énergétique	Sous-filière	Génération	Matière première	Produit valorisé	Processus
Gazole	Biodiésel	1 ^{ère}	Colza, Tournesol, Soja, Palme	Huile	Transestérification
	Huile végétale pure				Filtration
	Biomass-to-Liquid	2 ^e	Miscanthus, Switchgrass, Essences de bois, Pailles	Cellulose et lignine	Gazéification puis synthèse
Essence	Bioéthanol	1 ^{ère}	Blé, Maïs, Betterave, Canne à sucre	Sucre	Hydrolyse et Fermentation
					Fermentation
Gaz	Méthane	1 ^{ère}	Effluents agricole	Sucre, cellulose et lignine	Méthanisation
		2 ^e	Essences de bois, pailles	Cellulose et lignine	Gazéification puis méthanation
	Dihydrogène				Méthane

Figure 4 : Filières technologiques de biocarburants pouvant impliquer le secteur agricole⁵

Ce type de biomasse possède de bonnes opportunités pour produire de l'énergie pour les transports, en particulier pour l'aéronautique qui se fixe à moyen terme une neutralité carbone. Les verrous concernent la surface étendue des bassins exposés au soleil, l'épaisseur de la couche

d'eauensemencée en algues, l'énergie nécessaire pour faire fonctionner les pompes, la phase de séchage, la rupture des membranes pour libérer l'huile, etc. Cette génération de biocarburants n'est pas encore mature et nécessite toujours le déploiement de crédits de recherche académiques et technologiques.

3.1.2 Les forces et faiblesses

3.1.2.1 Les forces

- Revenu supplémentaire pour l'exploitation ;
- Sécurisation des revenus agricoles ;
- Réduction des charges d'exploitation ;
- Moins de main œuvre pour des cultures spécifiques dédiées ;
- Réduction des apports d'intrants ;
- Réduction de l'érosion et des lessivages des sols ;
- Amélioration et diversification des paysages.

3.1.2.2 Les faiblesses

- Marché encore non existant, modèle économique non confirmé ;
- Investissement dans une presse et du matériel spécifique ;
- Augmentation de la main d'œuvre pour la collecte ;
- Nouveaux itinéraires techniques encore non matures ;
- Risque d'appauvrissement des sols en matière organique ;
- Réticence au changement de système de culture ;
- Dépendante de la demande et du coût de vente de l'énergie.

3.2 La méthanisation

La méthanisation est un procédé de dégradation de la matière organique dans un milieu anaérobie. Cette dégradation peut avoir lieu naturellement dans les marais ou peut être provoquée volontairement dans des unités dédiées. Au cours de la méthanisation, des bactéries anaérobies transforment la biomasse organique complexe (déjections animales, déchets organiques) en molécules simples (CH_4 , CO_2 , H_2S , NH_3 et H_2). Cette fermentation dure au minimum deux semaines, elle permet notamment la formation de biogaz (CH_4 : 60%, CO_2 : 33%, H_2O : 5%, et autres 2%) et d'un résidu appelé digestat. Ce dernier est utilisé en tant qu'amendement et fertilisant par les agriculteurs et le biogaz peut être valorisé directement en énergie ou injecté dans un réseau de gaz.

3.2.1 Valorisation du biogaz

Il existe plusieurs filières de valorisation du biogaz produit par la méthanisation :

- **la production de chaleur** : la combustion de biogaz crée de la chaleur qui est utilisée pour la production d'eau chaude et de vapeur. Cette valorisation thermique nécessite, cependant, des débouchés de proximité (bâtiments, logements, village) ou une autoconsommation. En 2015, trois unités seulement de méthanisation agricole en France commercialisaient la chaleur issue du biogaz.
- **la cogénération** : le biogaz est utilisé comme combustible dans des moteurs thermiques afin de produire de l'électricité et de la chaleur. L'électricité produite est vendue et la chaleur peut être autoconsommée ou vendue à un réseau de chaleur. La plupart du temps, elle est utilisée pour réchauffer les digesteurs, les habitations, les bâtiments d'élevage ou utilisée pour du séchage de matières premières. La cogénération est le principal modèle de valorisation du biogaz en France. Plus de 300 unités de méthanisation agricole valorisent le biogaz par cogénération fin 2016 sur 330 unités à la ferme et l'injection de biométhane : le biogaz après purification devient du

biométhane qui est injecté dans les réseaux de gaz. En 2015, il existait 13 unités de méthanisation agricole en France qui valorisent le biogaz en méthane (26 unités fin 2016). Des recherches sont en cours pour permettre de transporter le biométhane (gaz porté) pour ne pas le réinjecter qu'en un seul point sur le réseau.

- Le **biométhane** carburant : le biogaz peut également être utilisé comme carburant, cette pratique est assez courante en Suède mais ne fait l'objet que de quelques installations pilotes en France actuellement.

3.2.2 Les forces et faiblesses

3.2.2.1 Les forces :

- Diversification et compléments de revenus pour les exploitations agricoles ;
- Sécurisation du revenu (contrat d'achat) réductions des charges de l'exploitation ;
- Réduction des volumes d'effluents ;
- Valorisation des déchets organiques ;
- Réduction du lessivage de l'azote ;
- Réduction des nuisances olfactives liées au stockage des fumiers/lisiers.

3.2.2.2 Les faiblesses:

- Temps de retour sur investissement long,
- Investissement conséquent ;
- Rentabilité liée à un approvisionnement sécurisé ;
- Éventuel achat ou mutualisation de substrat végétal ;
- Nécessité de compétences techniques ad 'hoc ;
- Technologie pas encore mature ;
- Montage administratif complexe ;
- Augmentation des volumes de digestat ;
- Possible fuites et relargages de CH₄ en cas de surpression ;
- Émission de GES liées au transport/livraison des substrats.

3.3 L'éolien terrestre

L'éolien terrestre consiste en un ensemble de dispositifs permettant la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, laquelle est ensuite généralement transformée en énergie électrique.

3.3.1 Les trois grandes catégories d'éoliennes :

- Les grandes éoliennes : ce sont celles installées dans les parcs éoliens, elles développent généralement une puissance nominale d'environ 1 à 3 MW. Une ferme d'éoliennes peut produire jusqu'à 210 MWe sachant qu'une éolienne de puissance nominale de 1MW fournit une énergie de 2GWh sur une durée moyenne de 2000 heures annuelles (les éoliennes produisent 25% du temps) ce qui correspond, en moyenne en France, à la consommation électrique d'environ 4000 foyers. Le mât est en général deux fois plus haut que la longueur des pales, de l'ordre de 90 m pour des pales de 50 m pour les éoliennes installées actuellement ;
- Les petites éoliennes : elles sont destinées aux sites non reliés au réseau électrique ou cherchant une autoconsommation. Leur puissance est inférieure à 36 kW. Le mât mesure entre 10 et 35 m ;
- Les éoliennes de puissance intermédiaire, ou moyen éolien, sont reliées au réseau électrique, leur puissance est comprise entre 36 kW et 250 kW. La hauteur du mât est inférieure à 50 m. Elles sont nettement moins répandues.

3.3.2 La variabilité de la production électrique des éoliennes

La production d'une éolienne dépend de la vitesse du vent au niveau des pales (le vent étant plus fort en altitude qu'au niveau du sol). Les éoliennes commencent à produire pour une vitesse de vent de l'ordre de 2 m/s soit autour de 7 km/h. Pour des vents entre 7 km/h et 40 km/h, la puissance délivrée augmente avec la vitesse de vent, jusqu'à la puissance nominale de la machine. Au-delà de 40 km/h et jusqu'à 90 km/h, les éoliennes continuent à délivrer la puissance nominale. Au-delà de 90 km/h, elles sont arrêtées par souci de sécurité et de protection du matériel. La production des éoliennes varie donc avec les conditions de vent du site. Cependant, quel que soit le niveau de production, les éoliennes doivent maintenir une qualité constante du courant en termes de fréquence, de tension, etc. .

Le démantèlement des machines (béton du socle et recyclage des pales en matériaux composites composés de résine époxy et de fibres de carbone), est problématique et malheureusement encore peu pris en considération.

3.3.3 Le rôle de l'agriculteur

L'agriculteur peut avoir deux rôles dans le cadre de l'installation éolienne. Soit, il rentabilise ses surfaces de terre moyennant loyer et/ou indemnisation, à une société de projet ; soit l'agriculteur est lui-même investisseur (seul ou en partie), il tire alors profit de l'exploitation des éoliennes et de la vente d'électricité.

3.3.4 Les forces et les faiblesses

3.3.4.1 Les forces

- Nouvelle source de revenu ;
- Sécurisation du revenu de l'exploitation (selon le coût de rachat de l'électricité) ;
- Pas de besoin de main d'œuvre ;
- Contraintes administratives faibles ;
- Contribution à la production d'électricité renouvelable ;
- Bonne acceptation sociale si forte implication /communication avec les acteurs locaux ;
- Redynamisation rurale.

3.3.4.2 Les faiblesses

- Rentabilité économique du petit éolien inexistante ;
- Contraintes réglementaires assez lourdes ;
- Impacts négatifs sur l'avifaune et les chiroptères ;
- Génération de nuisances auditives ;
- Risque d'opposition locale ;
- Problème lié à la répartition des revenus de location des terres entre propriétaires terriens.

3.4 Le photovoltaïque »

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire (direct et diffus) à l'aide de panneaux PV. Ces panneaux sont constitués de cellules photovoltaïques connectées entre elles. Les cellules utilisent l'effet photovoltaïque pour convertir la lumière en courant électrique continu. Celui-ci doit ensuite être converti en courant alternatif par un onduleur avant son injection dans le réseau électrique.

3.4.1 Les technologies

Les cellules sont fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs et plusieurs technologies se distinguent :

- Les modules en silicium poly ou monocristallin, ou en ruban ;

- Les modules en couches minces avec d'autres matériaux : silicium amorphe, tellure de cadmium, alliages de Cuivre Indium Sélénium dans une moindre mesure au gallium et aux polymères organiques.

Différentes installations sont exploitées :

- Posées sur ou intégrées aux toitures des bâtiments agricoles (hangars par exemple) : on parle généralement des moyennes et grandes toitures allant de 3kWc⁶ (~20 m²) à 100kWc (~600 m²) ;
- Centrales au sol : sauf exception, elles ne peuvent pas être installées sur des surfaces agricoles en production. Dans quelques cas, centrales PV et production agricole coexistent sur le même terrain, mais en hauteur (élevage ou plantes ne supportant pas le soleil direct) ; Souvent la production agricole a été ajoutée à posteriori.
- Serres à parois fermées ;
- Serres à parois ouvertes (ou en filet ou film plastique).

3.4.2 Les forces et les faiblesses

3.4.2.1 Les forces

- Diversification, augmentation et sécurisation du revenu pour les exploitations agricoles ;
- Valorisation économique des toitures ;
- Facilité du montage financier ;
- Technologie mature ;
- Diversité de l'offre de matériel PV ;
- Faible besoin de main d'œuvre ;
- Contribution à la production d'électricité renouvelable ;
- Amélioration de l'image du secteur agricole .

3.4.2.2 Les faiblesses

- Coût d'investissement ;
- Temps de retour sur investissement élevé ;
- Coût du raccordement ;
- Rentabilité dépendante de la qualité de l'installation et du dimensionnement pour une autoconsommation ;
- Montage administratif long ;
- Mauvaise image générale du PV ;
- La rentabilité dépend du coût de rachat de l'électricité.

3.5 Géothermie, Pompe à chaleur et récupérateur de chaleur

3.5.1 Les pompes à chaleur

Elles permettent de récupérer la chaleur d'un milieu (sol, air, eau) pour la transférer à un autre milieu par l'intermédiaire d'un processus actif qui implique une dépense d'énergie initiale. Elles permettent pour 1 kWh consommé d'en restituer de 2 à 4,5 selon la source de chaleur utilisée (air, sol superficiel, roche profonde). Lorsque la source de chaleur est l'air extérieur, on parle alors d'aérothermie ; lorsque la chaleur provient du sol (sol, eaux chaudes d'aquifères, roches chaudes) on parle de géothermie. Les termes d'aquathermie ou géothermie sur nappe sont employés pour désigner l'utilisation de l'eau chaude d'une nappe.

⁶ MWc signifie une puissance électrique en Méga Watt continue

3.5.2 Les récupérateurs de chaleur

Ils permettent de récupérer la chaleur générée par un procédé (par exemple le refroidissement du lait) pour la transférer à un autre (par exemple de l'eau) par l'intermédiaire d'un processus passif (simple contact entre produit émetteur et produit récepteur au travers d'un échangeur thermique).

	Récupération de chaleur	Aérothermie	Géothermie		Aquathermie, géothermie sur nappe
			Capteurs horizontaux	Sondes verticales	
	Lait/eau	Air/air ou Air/eau	Sol/air ou Sol/eau	Sol/air ou Sol/eau	Eau/air ou Eau/eau
Très basse énergie (10-30°C)	Chaleur et refroidissement	Chaleur & Climatisation	Chaleur	Chaleur	Chaleur & Climatisation
Basse énergie (30-90°C)	Chaleur et refroidissement	x	x	Chaleur	Chaleur
Moyenne énergie (90-150°C)		x	x	Chaleur	Electricité possible
Très haute énergie (>150°C)		x	x	x	Electricité possible

Figure 5 : Différents types de géothermie et aérothermie⁵

3.5.3 Les forces et les faiblesses

3.5.3.1 Les forces

- Réduction et maîtrise des charges énergétiques de l'exploitation ;
- Temps de retour sur investissement court ;
- Faible besoin de main d'œuvre ;
- Implantation envisageable quasiment partout ;
- Pas de besoin d'approvisionnement de la ressource ;
- Production d'une chaleur sèche plus confortable pour les animaux ;
- Contribution à la production de chaleur renouvelable.

3.5.3.2 Les faiblesses

- Investissement élevé ;
- Rentabilité ;
- Zone d'implantation limitée aux secteurs avec présence d'une nappe ;
- Besoin d'une surface disponible conséquente ;
- Nécessité d'un système de chauffage d'appoint ;
- Technologie peu connue.

3.6 Solaire thermique

3.6.1 La technologie

Les panneaux solaires thermiques utilisent le rayonnement du soleil pour produire de la chaleur qui permet d'alimenter :

- soit un chauffe-eau solaire individuel ou collectif, voire un système solaire pour réseau de chaleur, pour produire de l'eau chaude ;
- soit un système solaire combiné qui produit de l'eau chaude et de l'air chaud ;
- soit un système de climatisation solaire (machine à absorption ou adsorption) pour faire de l'air froid ;

- soit une toiture solaire qui permet de faire circuler de l'air chaud notamment pour du séchage de fourrage ou produits en grange.

Les panneaux solaires thermiques sont majoritairement utilisés par les agriculteurs pour :

- produire de l'eau chaude (chauffe-eau solaire individuel) afin de :
 - Laver les bâtiments et le matériel dans des ateliers de transformation présents sur l'exploitation (laiteries, fromageries, transformation de produits à base de viande, etc.) ;
 - Fabriquer des aliments qui sont initialement sous forme de poudre (élevage de veau, etc.).
- produire de l'air chaud (toiture solaire) afin de :
 - Chauffer les bâtiments d'élevage (poulaillers, étables, bergeries, écuries, etc.) ;
 - Sécher du foin, du soja, des noix, la luzerne, etc.

3.6.2 Les forces et les faiblesses

3.6.2.1 Les forces

- Réduction des charges énergétiques de l'exploitation ;
- Investissement relativement faible ;
- Amélioration de l'autonomie énergétique ;
- Solution technique permettant de valoriser une grande partie de l'énergie contenue dans la lumière ;
- Faible besoin en main d'œuvre ;
- Bon rendement énergétique ;
- Contribution à la production de chaleur renouvelable ;
- Amélioration de l'image du secteur agricole.

3.6.2.2 Les faiblesses

- Temps de retour d'investissement relativement long ;
- Nécessité d'un système d'appoint complémentaire ;
- Légère différence de rendement selon la zone d'implantation ;
- Nécessité d'optimisation du dimensionnement.

3.7 Biomasse chaleur

3.7.1 La technologie

La biomasse est la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers. Différentes voies de valorisation énergétique de la biomasse existent : la filière thermochimique (combustion, gazéification, pyrolyse), la méthanisation et la fabrication de biocarburants.

3.7.2 Les forces et les faiblesses

3.7.2.1 Les forces

- Réduction et maîtrise des charges énergétiques de l'exploitation agricole ;
- Temps de retour sur investissement relativement court ;
- Revenu complémentaire lié à la vente de biomasse produite sur l'exploitation ;
- Amélioration de l'autonomie énergétique ;
- Exige peu de main d'œuvre.

3.7.2.2 Les faiblesses

- Investissement qui peut être conséquent ;

- Surcoût supplémentaire en cas d'utilisation de biomasse agricole ;
- Intérêt économique du projet fortement dépendant de l'écart de prix entre énergies fossiles et la biomasse ;
- Sécurisation de l'approvisionnement
- Nécessité de réglages et d'entretiens spécifiques ;
- Études préalables indispensables
- Surplus de temps de travail pour les approvisionnements et l'utilisation.

4 Actions de recherche spécifiques à soutenir : le colloque « Agriculture et Efficacité Énergétique » du 15 juin 2017

Lors du Colloque « Agriculture et Efficacité Énergétique » organisé par le CVT⁷ de ANCRE le 15 juin 2017, des réflexions ont été menées pour identifier les besoins de recherche pour accroître l'EE dans le secteur agricole. Plusieurs pistes de recherche ont été approfondies sur quatre thèmes principaux : les outils de production, les intrants, les systèmes agricoles et d'élevage et leurs pratiques, et enfin l'agriculture numérique. Il a été débattu sur les pratiques actuellement employées afin d'en dégager les points forts et faibles débouchant sur des pistes d'amélioration dans les usages énergétiques et écologiques par l'acquisition de connaissances fondamentales issues de la recherche et de l'évolution des comportements.

Des tendances d'usage, déjà citées dans ce document, se sont dégagées avec la prise de conscience de l'immensité des besoins :

- Après la pénurie alimentaire de l'après-guerre, la mécanisation et l'emploi intensif d'intrants ont permis d'accroître les rendements agricoles et ainsi de faire face à la demande des populations mondiales. Actuellement, ces pratiques sont de plus en plus remises en cause pour une transition vers une agriculture plus écologique, de qualité garantissant une meilleure santé. Cet état de fait est largement plébiscité à la fois par un nombre croissant d'agriculteurs et une demande grandissante des consommateurs.
- La prise en compte de l'évolution des régimes alimentaires vers une réduction du ratio des produits animaux/végétaux et l'usage des produits phytosanitaires et énergétiques doivent être reconsidérés au profit d'une diversification agricole et forestière. La revisite des variétés anciennes de plantes et leur assemblage judicieux devraient permettre de diminuer l'emploi d'intrants chimiques et de sortir des usages basés principalement sur le pétrole, quitte à accepter une diminution des rendements. Les besoins de recherche sont ici évidents, il s'agit de mieux maîtriser les techniques biologiques et de développer des outils pour sélectionner, mélanger et adapter les plantes à leur environnement.
- Une autre piste se dégage autour du dimensionnement des installations. Bien qu'il y ait un certain dédain français pour les ferme-usines, l'augmentation de la surface des terres est une opportunité pour l'exploitant d'améliorer ses revenus. Toutefois, cette évolution foncière se heurte à un manque de terres à acquérir. Afin d'accroître la rentabilité des installations, il conviendrait d'étudier une organisation systémique territorialisée (remembrement des parcelles) afin de diminuer les distances ferme / champ, mutualiser les outils et les ressources, acquérir des équipements performants et passer à des systèmes de culture intégrant des cultures complémentaires sobres en énergie, eau et intrants. Là encore, des besoins en recherche s'imposent pour améliorer l'EE des usages. Il doit être développé le chauffage des serres, des bâtiments et des logements à partir de l'utilisation de chaleur renouvelable, des tracteurs et engins agricoles ou forestiers parfaitement adaptés à un usage spécifique, tournés vers une motorisation électrique si possible, manœuvrés écologiquement, équipés de capteurs temps réel d'analyse des

⁷ Consortium de Valorisation Thématique

propriétés des terres et ajuster les quantités d'intrants naturels aux besoins locaux à l'instant considéré.

- Certains agriculteurs cherchent à bénéficier de l'apport de nouvelles technologies pour compléter leurs ressources. On citera l'implantation d'éoliennes et de panneaux photovoltaïques sur la propriété, la valorisation des chaleurs fatales organiques et animales, la production de chaleur par une combustion optimisée de la biomasse (chaudière, pompe à chaleur), la récupération de déchets organiques (pailles, élevage) pour leur valorisation énergétique au moyen de méthaniseurs pour la production de biogaz. L'étude de technologies performantes et optimisées pour la taille des exploitations ainsi que leur intégration au niveau de la ferme ou du territoire sont aussi des enjeux pour la recherche.
- Enfin, l'agriculture attend beaucoup du numérique comme outil d'information, de communication, d'aide à la décision et au développement de pratiques nouvelles. L'introduction d'intrants chimiques doit pouvoir être réduite tout en maintenant des rendements capables d'assurer des revenus décents et équitables aux acteurs de la filière. Le développement de modèles est indispensable à l'évolution des pratiques et à l'élaboration de procédés naturels biologiques. Le bio-contrôle des ravageurs par l'introduction d'acteurs naturels (soleil, insectes utiles (abeilles,...), champignons, ...) et le mélange de variétés de plantes sont des pistes également à creuser. La collecte et la mutualisation d'informations à l'échelle mondiale est indispensable à l'élaboration de bases de données, mais chacun doit pouvoir en mutualiser les bénéfices. Les grands groupes et les startups doivent valoriser ces acquis et coopérer avec les organismes de recherche publics et privés pour accompagner les exploitants agricoles dans leur transition écologique.
- La lutte contre le gaspillage des denrées alimentaires, actuellement mise en place par le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, est une piste comportementale à encourager pour encadrer une diminution de la production agricole et des coûts énergétiques sans perte de revenus pour les agriculteurs.

Pour conclure, bien que le coût énergétique de l'agriculture soit marginal vis-à-vis de la facture nationale, des efforts de recherche ont été identifiés pour accompagner la transition énergétique et environnementale de l'agriculture. Cette dernière doit devenir fiable, rentable, à faible risque et donc ne plus être plus basée sur une utilisation massive d'intrants et d'énergies fossiles. Elle doit évoluer vers des pratiques naturelles, plus écologiques réclamées par la nouvelle génération d'agriculteurs et d'éleveurs, en phase avec la demande des consommateurs et la sauvegarde de la planète, et ceci sans affecter significativement les rendements, donc la rémunération des exploitants.

Ces efforts de recherche doivent être conduits conjointement par des acteurs de la recherche publique et des industriels, et être facilités par des financements publics coordonnés.

5 L'implication de l'INRA dans l'énergie

L'INRA est impliqué dans la valorisation de la production de biomasse à des fins d'énergie bien que ses missions semblent plus particulièrement axés sur les semences, la faune, les méthodes culturales, l'environnement, etc.. Tout de même, des bilans énergétiques ont été réalisés sur des sites expérimentaux par UMR INRA *AgroParisTech Environnement et Grandes Cultures* sur la ferme de Grignon (contact : benoit.gabrielle@agroparistech.fr). Des consommations d'énergie ont été évaluées pour différents types de grandes cultures et des pistes de réduction ont été identifiées (outils de diagnostic, réduction des intrants, du travail du sol, des infrastructures (serres, irrigation, bâtiments), production directe d'énergie renouvelable, reconfiguration des systèmes de production (écologie industrielle), valorisation des gisements

d'énergie renouvelable disponibles (biomasse et déchets), approches systémiques pour améliorer des productions et utiliser des synergies territoriales, démarche multicritères (durabilité).

6 Présentation succincte de l'Alliance de Coordination de la Recherche pour l'Énergie (ANCRE)

Créée le 17 juillet 2009, l'Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie (Ancre) rassemble 19 organismes de recherche et d'innovation ainsi que les conférences d'établissements d'enseignement supérieur dans le domaine de l'énergie. Ses missions, exercées en liaison avec les pôles de compétitivité et les agences de financement, sont de :

- **Renforcer les synergies et partenariats** entre organismes de recherche, universités et entreprises concernés par le secteur de l'énergie
- **Identifier les verrous** scientifiques et techniques qui limitent les développements industriels
- **Proposer des programmes de recherche et innovation**, et les modalités de leur mise en œuvre
- **Contribuer à l'élaboration de la stratégie nationale de recherche en matière d'énergie** ainsi qu'à la programmation des agences de financement dans ce domaine.

Enfin, ANCRE s'est fixé comme objectif de considérer les différents défis sociétaux pour **une énergie propre, sûre et efficace ainsi que pour une mobilité et des systèmes urbains durables.**

Le groupe programmatique (GP) n°8 est en charge de l'amélioration de l'EE dans les industries et l'agriculture (co-animateurs L. Forti (IFPEN) et J-M. Most (CNRS)).

La gouvernance et les différents GP sont détaillés sur le site web de ANCRE www.allianceenergie.fr

7 Conclusion

Pour l'agriculteur, la production d'énergie renouvelable est principalement motivée par des raisons économiques à savoir leur permettre d'obtenir un complément de revenu substantiel. Plusieurs leviers de diversification de leur métier sont à leur disposition : l'augmentation de leur surface cultivable, l'autoconsommation de l'énergie issue de leur biomasse, l'évolution de leurs méthodes culturales, l'adaptation de leur comportement vers une agriculture de qualité plus respectueuse de l'environnement, plus bio, employant des intrants et des produits phytosanitaires naturels, et en adéquation avec la demande des consommateurs vers un régime réduisant le rapport produits animaux/végétaux, la vente directe et locale, la gestion de l'eau, la sauvegarde de la biodiversité, l'adaptation des cultures au territoire au besoin avec une réaffectation des sols, ... L'augmentation des revenus des agriculteurs passe également d'une part, par une réduction des frais d'exploitation, du coût des transports, une mutualisation des ressources valorisables, l'amélioration de l'EE de l'exploitation, et, d'autre part, par la production sur le sol d'énergie renouvelable d'électricité, de chaleur et de biogaz. L'introduction du numérique dans l'agriculture doit jouer un rôle prépondérant comme outil d'information, de communication, d'aide à la décision et au développement de pratiques nouvelles en adéquation avec la demande des consommateurs et aux enjeux énergétiques et écologiques.

Pour conclure, l'agriculteur doit chercher à se diriger vers une agriculture responsable et respectueuse de l'environnement tout en garantissant un revenu décent et équitable à l'exploitant grâce au travail de la terre et à une plus grande auto-suffisante énergétique.

Grâce à ces efforts et aux résultats de la recherche, l'ensemble de ces éléments contribuera à la production d'EnR et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre pour tendre vers une neutralité carbone du pays, du territoire et du secteur, dès 2050 en accord avec les priorités gouvernementales actuellement clairement affichées.

Jean-Michel Most

Poitiers, le 14 juin 2020

8 Quelques références bibliographiques

Ministère de l'agriculture et de l'alimentation (2010)

Synthèse prospective agriculture énergie 2030 (PDF, 1.91 Mo)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/99479?token=d9b70313b0277b702643f1e21ad80e81>

Prospective analysis agriculture energy 2030 (PDF, 1.56 Mo)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/99482?token=783727f60e821e20d7fa3849024eb1e2>

Rapport prospective agriculture énergie 2030 (PDF, 3.76 Mo)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/99485?token=99a16fec0c6724876d8e5c368c7b92e6>

Rapport complet - prospective agriculture énergie 2030 (PDF, 4.92 Mo)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/99491?token=1344062f9e46f711f890cdcc117111de>

ADEME (2020)

synthese-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf

<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/synthese-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf>

rapport-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf

<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rapport-agriculture-efficacite-energetique->

annexe1-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf

<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/annexe1-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf>

annexe2-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf

<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/annexe2-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf>
