

DÉCEMBRE 2020

ÉNERGIES RENOUVELABLES : LES SOLUTIONS À LA FERME

Décryptage

Contexte et enjeux de la production d'énergie renouvelable à la ferme

Situation en France

Les solutions techniques pour produire électricité, biogaz et chaleur à la ferme

Environnement

Bilan environnemental de la production d'énergie renouvelable à la ferme

Mise en œuvre

Accompagner le développement de l'énergie renouvelable à la ferme



ÉTUDES,
ANALYSES,
STRATÉGIE



ÉDITO

Jérôme MOUSSET,

Responsable du service Forêt, Alimentation et Bioéconomie à l'ADEME

La France s'est fixée comme objectifs ambitieux pour la lutte contre le changement climatique de réduire de 40 % les émissions de gaz à effet de serre en 2030 et d'atteindre la neutralité carbone en 2050. Il s'agit de s'inscrire dans une trajectoire permettant de limiter le réchauffement climatique à +2°C. Les analyses prospectives montrent que l'atteinte de ces objectifs nécessite une implication forte de tous les secteurs économiques, des collectivités et de chaque citoyen. Il est nécessaire d'orienter dès maintenant nos modes de production vers des systèmes sobres en carbone, et en particulier notre système énergétique qui intervient dans tous les processus de production, de transport, de logement et de consommation. La transition énergétique du pays est donc un des enjeux majeurs de la lutte contre le changement climatique. Dans ce domaine, les objectifs de la France à 2030 sont de réduire notre consommation d'énergie finale de 20 % et de porter la part des énergies renouvelables à 32 %.

« La transition énergétique de la France est un des enjeux majeurs de la lutte contre le changement climatique. »

Le monde agricole a un rôle stratégique à jouer dans la transition énergétique de la France. Les modes d'action sont multiples et variés. Production de biomasse, d'électricité ou de gaz, mise à disposition d'espace pour les énergies renouvelables, implication dans des projets collectifs, la contribution des agriculteurs est essentielle pour réussir cette transition. Mais c'est aussi une opportunité permettant une diversification des revenus et la construction de nouveaux partenariats dans les territoires avec les collectivités, les entreprises et le voisinage.

En mettant en lumière les enjeux des énergies renouvelables à la ferme, ce dossier souligne l'implication forte des organismes agricoles, et notamment l'Institut de l'Élevage, dans la transition énergétique et écologique de notre société. Que ce dossier contribue à éclairer les débats sur les enjeux de la transition énergétique pour l'agriculture de demain et favorise dès maintenant l'émergence de nouveaux projets d'énergie renouvelable dans les exploitations agricoles.

AVANT-PROPOS

4

La production d'énergie renouvelable à la ferme est une opportunité pour le monde agricole. Les exploitations agricoles sont d'ailleurs très convoitées par les acteurs des énergies renouvelables. Les possibilités sont multiples et permettent de participer à la lutte contre le réchauffement climatique. L'accompagnement des projets est essentiel pour favoriser le développement des énergies renouvelables en élevage.

SOMMAIRE

6



DÉCRYPTAGE

CONTEXTE ET ENJEUX DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE À LA FERME

7
Les cinq possibilités de production d'énergies renouvelables à la ferme

10
Élevage et énergies renouvelables : les repères économiques

14
Énergies renouvelables : contributions et opportunités pour les exploitations agricoles

18



SITUATION EN FRANCE

LES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR PRODUIRE ÉLECTRICITÉ, BIOGAZ ET CHALEUR À LA FERME

18
Produire de l'électricité en élevage grâce au solaire photovoltaïque

28
En filière biogaz, le développement de modèles à l'échelle d'une exploitation

34
Produire de la chaleur en élevage grâce au solaire thermique et la filière bois énergie

40



ENVIRONNEMENT

BILAN ENVIRONNEMENTAL DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE À LA FERME

41
Production et consommation d'énergie renouvelable à la ferme : comment les intégrer dans les bilans environnementaux des activités agricoles ?

45
L'analyse environnementale de la méthanisation en élevages bovins

54



MISE EN ŒUVRE

ACCOMPAGNER LE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉNERGIE RENOUVELABLE À LA FERME

55
Les outils et références pour développer les projets de production d'énergie renouvelable à la ferme

57
Les rôles de l'enseignement agricole dans le développement des énergies renouvelables à la ferme

62

CONCLUSION

AVANT-PROPOS

• MINI-BIOGRAPHIE

François GERVAIS

Chargé d'études « Bâtiment & Énergie » – Institut de l'Élevage – Service « Capteurs, équipements et bâtiments »

Depuis 2015

Suivis d'études et d'expérimentations en élevage sur la production d'énergies renouvelables : petite méthanisation à la ferme, photovoltaïsme



« Les énergies renouvelables dans l'agriculture souffrent encore d'un manque de connaissances sur les différentes solutions existantes pour les exploitations agricoles. Les avantages économiques, leurs intégrations aux systèmes de production et la diversité des modèles d'affaires sont à diffuser. » *Ademe, 2018*

Énergie renouvelable et énergie non renouvelable : quelles différences ?

Une énergie est dite renouvelable lorsqu'elle est produite par une source que la nature renouvelle en permanence, contrairement à une énergie dépendante de sources qui s'épuisent. Les énergies renouvelables n'engendrent pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes. Elles participent à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO₂ dans l'atmosphère. Elles facilitent la gestion raisonnée des ressources locales. On recense cinq grands types d'énergies renouvelables : l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, la biomasse et la géothermie.

Les énergies non renouvelables regroupent d'une part les énergies fossiles issues de la transformation de matières organiques enfouies dans le sol pendant des millions d'années (charbon, pétrole ou gaz naturel) et d'autre part l'énergie nucléaire produite par fission de l'uranium au sein d'un réacteur nucléaire pour la production d'électricité.

Comment l'agriculture contribue-t-elle à la production d'énergie renouvelable en France ?

La contribution directe et indirecte du secteur agricole à la production nationale d'énergie renouvelable atteint 20 % de la production nationale : 4,6 Millions de tonnes d'équivalent pétrole (Mtep) sur les 23 Mtep d'énergies renouvelables au niveau national (Ademe, 2018).

Avec une consommation de près de 4,5 Mtep en 2015, la contribution du secteur agricole à la production d'énergies renouvelables est équivalente à sa consommation énergétique. À titre d'exemple, 13 % du parc photovoltaïque national est agricole. Le secteur agricole contribue à hauteur de 26 % à la production nationale de biogaz.

En classant les 27 pays de l'Union européenne selon la part de leur consommation finale brute d'énergie produite à partir de sources renouvelables, la France occupe la 15^{ème} position en 2017 (source : Les Chiffres clés des énergies renouvelables – édition 2019, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation).

Qu'est-ce qui motive les éleveurs à produire de l'énergie sur leur exploitation ?

Une étude de l'Ademe sur la dépendance globale de l'agriculture à l'énergie indique que les dépenses énergétiques annuelles par exploitation représentent entre 7 et 20 % des charges variables des exploitations agricoles, selon les productions et les années. Plus la consommation d'énergie est importante, plus les exploitations sont dépendantes des augmentations et des variations des prix des énergies fossiles. Les énergies renouvelables représentent des opportunités économiques pour les éleveurs : produire et autoconsommer son énergie permet de réduire sa dépendance aux énergies fossiles et revendre de l'énergie renou-

velable peut être une source de revenus complémentaires non négligeable.

Les éleveurs hésitent de moins en moins à investir dans des installations productrices d'énergie renouvelable, en parallèle de leur activité d'élevage : panneaux photovoltaïques, unité de méthanisation, voire bois énergie.

Les énergies renouvelables constituent-elles une opportunité pour le secteur agricole ?

Les exploitations agricoles sont très convoitées par les acteurs des énergies renouvelables. En effet, la France étant composée à plus de 50 % de surface agricole, les projets de production d'énergie renouvelable devront, dans la majorité des cas, composer avec les agriculteurs qui disposent d'un patrimoine mobilisable pour la production d'énergies : toitures des bâtiments, déchets méthanogènes ou encore surfaces inutilisées.

La production d'énergie renouvelable à la ferme est aussi une opportunité pour le monde agricole. Cela permet de contribuer à la réduction des émissions des gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote) et de polluants atmosphériques (ammoniac, oxyde d'azote, particules en suspension de type PM¹⁰ et PM^{2,5}, etc.) et ainsi de participer activement à la lutte contre le réchauffement climatique.

Toutefois, le développement de la production d'énergies renouvelables à la ferme ne pourra être durable qu'à condition de bien équilibrer le rapport entre production énergétique et production alimentaire, et de préserver les surfaces agricoles et le métier d'agriculteur. Si tout cela est pris en compte, les énergies renouvelables peuvent devenir un bon support pour la transition écologique et énergétique, notamment dans le milieu agricole.

Les énergies renouvelables sont-elles un enjeu stratégique pour la France ?

La loi de transition énergétique du 17 août 2015 est favorable aux énergies renouvelables produites à la ferme. En effet, cette loi soutient le développement des sources d'énergie propre en prenant en compte le territoire. Par exemple, il est prévu de créer des schémas régionaux sur la biomasse et la hiérarchisation de leurs usages, le soutien des chaudières à biomasse ou encore le développement des biocarburants. L'engagement de la France était que l'énergie renouvelable représente 23 % de la consommation finale et qu'à l'horizon 2030 elle atteigne 32 %. Plus particulièrement, en 2030, la production d'électricité d'origine renouvelable devra atteindre 40 % et la consommation de gaz d'origine renouvelable 10 %. Ces objectifs laissent entrevoir des opportunités et possibilités de développement des filières «photovoltaïque» et «méthanisation» dans les exploitations d'élevage.

• EN CHIFFRES

16%

Part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie en France en 2017

+70%

Évolution des énergies renouvelables de 1990 à 2017 en France

8000

élevages bovins français produisant de l'énergie renouvelable en 2020

• POUR ALLER PLUS LOIN

> **CHIFFRES CLÉS DES ÉNERGIES RENOUVELABLES – ÉDITION 2019**
Commissariat général du développement durable.
Mai 2019 : 92 p.

> **AGRICULTURE ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE**
Ademe. Février 2019 : 85 p.



Souvent dégagés, les terrains agricoles se prêtent très bien à l'implantation d'un parc éolien.

• L'ESSENTIEL

- Les solutions techniques pour produire de l'énergie renouvelable en élevage sont multiples.
- Produire de l'énergie renouvelable permet de générer un revenu complémentaire.
- Les exploitations d'élevage jouent un rôle important dans la transition énergétique de la France.



François GERVAIS
Chargé d'études
« Bâtiment & Énergie »
Institut de l'Élevage



Jean-Yves BLANCHIN
Chef de projet
« Bâtiments d'élevage »
Institut de l'Élevage

et **Benoit Rubin, Mylène Berruyer** (Institut de l'Élevage), **Nicolas Tomet** (Ademe), **Thomas Gontier** (Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire)

Contexte et enjeux de la production d'énergie renouvelable à la ferme

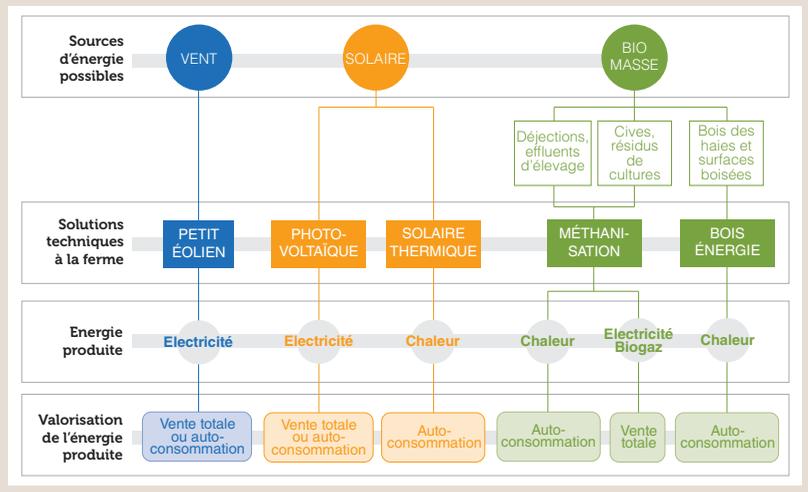
LES CONNEXIONS ENTRE AGRICULTURE ET ÉNERGIES RENOUVELABLES CONSTITUENT DES PERSPECTIVES INTÉRESSANTES ET DES LEVIERS PUISSANTS EN FAVEUR D'UNE ACCÉLÉRATION DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DANS LES TERRITOIRES.

Les 5 possibilités de production d'énergies renouvelables à la ferme

La France est un pays où l'agriculture joue un rôle important. Celle-ci se trouve

à l'interface de multiples enjeux concernant la préservation de l'environnement, la production de biomasse, le développement économique dans les zones rurales... L'agriculture occupe 58 % de la surface du territoire ; elle dispose de réelles opportunités en matière de développement des productions électriques éoliennes et photovoltaïques, en particulier sur les bâtiments. Elle possède aussi la capacité de produire de l'énergie à partir de biomasse, soit par combustion et production de chaleur, soit par méthanisation et production de biogaz valorisable en électricité, chaleur et carburant. Sur une exploitation d'élevage, cinq possibilités de production d'énergie renouvelable sont envisageables (figure 1).

FIGURE 1 : PRODUCTION ET VALORISATION D'ÉNERGIES RENOUVELABLES À LA FERME



Le solaire

Le soleil est une source d'énergie renouvelable inépuisable. L'énergie solaire photovoltaïque est produite à partir du rayonnement solaire capté par des

L'électricité est la seconde énergie la plus consommée en agriculture. L'installation d'une éolienne est particulièrement indiquée sur une exploitation agricole, pour couvrir ses besoins énergétiques.



• REPÈRES

L'unité de mesure de l'énergie définie par le Système International d'unités (SI) est le Joule (J). Dans la pratique, et contrairement à la plupart des autres unités du SI, l'énergie est fréquemment mesurée en utilisant d'autres unités que le Joule, avec les équivalences suivantes :

LA CALORIE (CAL)

Unité historique de mesure de l'énergie qui correspond à la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré Celsius la température d'un kg d'eau.
1 cal = 4,1855 J

LE KILOWATT-HEURE (KWH)

Energie consommée par un appareil de 1 000 Watts pendant une durée d'une heure.
1 kWh = 3,6 MJ

LA TONNE ÉQUIVALENT PÉTROLE (TEP)

Energie calorifique d'une tonne de pétrole « moyen », cette unité est utilisée par les économistes de l'énergie.
1 tep = 41,86 GJ

L'ÉQUIVALENT LITRE DE FIOUL (EQF)

Unité d'énergie souvent utilisée en agriculture.
1 EQF = 35,8 MJ

panneaux solaires. Ces cellules photovoltaïques convertissent les ondes électromagnétiques émises par le soleil en électricité, injectée sur le réseau de distribution et de transport électrique.

Lorsque le coût de production est proche du prix d'achat de l'électricité, il peut être intéressant de consommer l'énergie produite.

En France, du fait des mutations des exploitations agricoles, le parc de bâtiments des 200 000 exploitations herbivores françaises subit en permanence des transformations : nouvelles constructions, extensions et rénovation de bâtiments. Le développement du solaire photovoltaïque est très pertinent pour les nouvelles constructions, un peu plus difficile à mettre en œuvre sur les bâtiments vieillissants (insertion difficile des panneaux sur la toiture).

De la même manière, un système de chauffe-eau solaire thermique permet de récupérer des calories en captant l'énergie du rayonnement solaire. En élevage, ces calories peuvent être utilisées pour produire de l'eau chaude ou alimenter un chauffage basse température. En élevage laitier, un chauffe-eau solaire couvre au minimum 20 % des besoins en eau chaude en hiver et plus de 90 % en été (soit 40 % des besoins annuels en eau chaude). Un chauffe-eau solaire peut se combiner à un pré-refroidisseur de lait.

Le vent

L'efficacité de l'éolien dépend en premier lieu de la qualité du vent : vitesse, stabilité en direction, absence de turbulences. Une étude de vent est indispensable pour, d'une part, dimensionner la machine et la hauteur de mât pertinente et d'autre part, évaluer l'intérêt économique de l'installation.

La mise en place d'un petit éolien sur une exploitation agricole dépend de la disponibilité de terrains dégagés et nécessite un vent régulier. Le petit éolien a une puissance inférieure à 36 kW (le plus souvent de 6 à 20 kW). Pour pouvoir vendre l'électricité produite, l'éolienne doit être installée dans une Zone de Développement Eolien (ZDE).

Une éolienne ne nécessite aucun carburant et ne consomme que peu de surface de sol sur des terres agricoles (de 5 à 10 m²). La nuisance sonore dépend du type d'hélice et de la technologie. En France, en dessous de 12 m de hauteur, l'installation est libre de toutes contraintes sauf stipulation contraire du Plan Local d'Urbanisme.

D'une façon générale, les besoins énergétiques sont plus élevés en période hivernale. Et c'est justement à cette saison que le vent souffle de façon plus régulière et que la production électrique des éoliennes est plus soutenue.

La biomasse

La méthanisation (ou digestion anaérobie) est la transformation de la matière organique en un biogaz, composé principalement de méthane et de dioxyde de carbone, par une communauté microbienne en absence d'oxygène. C'est une transformation naturelle qui, en élevage, s'opère dans tous les ouvrages de stockage des déjections animales.

Il est possible d'injecter le biogaz directement dans le réseau GRDF ou bien de valoriser ce gaz par la cogénération, produisant à la fois de l'électricité et de la chaleur.

Le gisement en matières méthanogènes issues des effluents d'élevages de bovins a fait l'objet d'une cartographie dans le cadre d'une étude conduite conjointement par Arvalis-Institut du végétal, l'IFIP-Institut du porc et l'Institut de l'Élevage avec le soutien financier de l'ADEME (cartes 1 et 2). Ce sont environ 18 millions de tonnes de lisier et 68 millions de tonnes de fumier qui sont produits chaque année par les élevages de bovins français. Si la totalité de cette ressource pouvait être valorisée par méthanisation (hypothèse peu réaliste), cela représenterait un potentiel de production d'énergie de 30,8 TWh, soit l'équivalent de la consommation électrique d'une ville de 4,6 millions d'habitants. Compte tenu des difficultés de mobilisation de cette ressource dues à la faible masse unitaire produite par chaque exploitation et aux limites logistiques, la part réellement mobilisable sera toujours beaucoup plus faible mais une proportion de 20 à 25 % est un objectif qui pourrait être atteint avec quelques évolutions technologiques (méthanisation par voie sèche).

Sur les exploitations agricoles, la ressource en bois est abondante : on recense de 80 à 100 mètres linéaires de haies/ha de SAU dans les fermes d'élevage herbivore. La gestion du bocage permet de valoriser l'ensemble de la biomasse comme source d'énergie (eau chaude, chauffage) pour l'exploitation et/ou pour un usage domestique. S'ils sont suffisamment proches, un réseau de chaleur permet de raccorder l'ensemble des bâtiments (Aile, 2018).

Pour produire du bois énergie, il faut définir le type de produit : bois bûches, bois plaquettes. Les moyens de récolte, les conditions de production et de stockage sont différentes et nécessitent des engins et outils adaptés. Le bois plaquettes peut être autoconsommé sur l'exploitation d'élevage mais il peut aussi approvisionner des chaudières de collectivités ou de particuliers à l'échelle du territoire. Les plaquettes peuvent aussi être une alternative pour la litière des animaux, être utilisées comme combustible ou comme paillage de plantations.

• BIBLIO

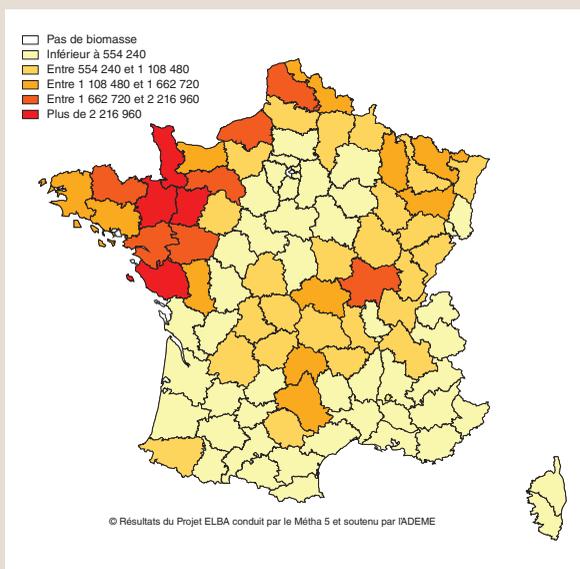
LE CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE ET D'HABITATION EN RÉSEAU

Aile, 2018
www.aile.asso.fr/bois-energie/

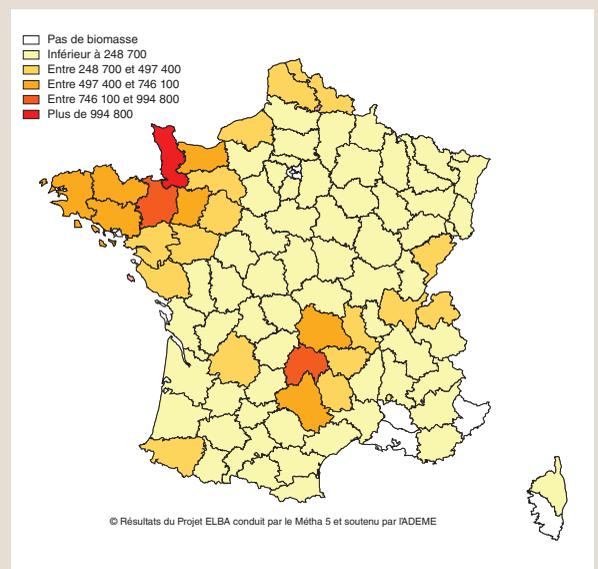
LA FERME D'ÉLEVAGE À ÉNERGIE POSITIVE : PRINCIPES ET FICHES TECHNIQUES POUR AMÉLIORER LE BILAN ÉNERGÉTIQUE DES FERMES D'ÉLEVAGE DE RUMINANTS

Institut de l'Élevage, 2016 : 72 p.

CARTE 1 : RÉPARTITION DES GISEMENTS DE FUMIER DE BOVIN (EN TONNES DE MATIÈRE BRUTE) (source : ELBA, 2018)



CARTE 2 : RÉPARTITION DES GISEMENTS DE LISIER DE BOVIN (EN TONNES DE MATIÈRE BRUTE) (source : ELBA, 2018)



• REPÈRES

EXCÉDENT BRUT D'EXPLOITATION (EBE) =
Produits – Charges (hors amortissements et frais financiers)

EBE AVANT MAIN-D'ŒUVRE =
EBE hors frais de main-d'œuvre

INVESTISSEMENTS =
amortissements et frais financiers (assurances, intérêts, frais de dossier)

MARGE NETTE =
EBE – Investissements

PRODUCTIVITÉ = kWh livrés / (Puissance maxi x 8760 h)

TEMPS DE RETOUR SUR INVESTISSEMENT (TRI) =
Capital investi / EBE

Élevage et énergies renouvelables : les repères économiques

De récentes études technico-économiques (APCA, ADEME, Institut de l'Élevage) fournissent des repères économiques pour les différentes sources de production d'énergie renouvelable à la ferme (hors éolien).

Cas de la méthanisation

Dans le cas d'une installation de méthanisation, le lien à l'activité d'élevage est fort à modéré en fonction de la part des effluents d'élevage utilisée, de la valorisation agronomique des digestats et de la valorisation de la chaleur produite.

Trois tailles d'installation de méthanisation ont été étudiées. Leurs résultats technico-économiques sont présentés dans le tableau 1.

De grandes variations sont observées à l'intérieur et entre chaque classe, expliquées par les facteurs suivants :

- le nombre d'heures de fonctionnement du moteur de cogénération ;
- les variations de la ration : quantité, qualité, types d'intrants et éventuels achats ;
- la qualité du biogaz et sa valorisation.

Les risques économiques associés aux installations de méthanisation sont :

- un mauvais dimensionnement de l'installation : surestimation du potentiel méthanogène, du rendement moteur, ... ;
- les problèmes techniques impactant le fonctionnement : panne, casse, ... ;
- la pérennité des approvisionnements en intrants extérieurs très méthanogènes.

TABLEAU 1 : REPÈRES ÉCONOMIQUES POUR DES INSTALLATIONS DE MÉTHANISATION (AVEC CHARGES D'INVESTISSEMENT = 100 % EMPRUNT BANCAIRE SUR 11 ANS) (Source : Données PRODIGE, 2019)

	Puissance de l'installation de méthanisation		
	< 140 kWé (7 instal. / moy. 69 kWé)	de 140 à 300 kWé (16 instal. / moy. 206 kWé)	> 300 kWé (7 instal. / moy. 490 kWé)
Subventions	20 à 30 %	20 à 30 %	20 à 30 %
Capital investi (après subventions)*	6 908 €/kWé installé	5 747 €/kWé installé	4 377 €/kWé installé
Produits (en €/MWhé livré)	240 €	240 €	221 €
- Électricité	217 €	212 €	205 €
- Autres recettes**	23 €	28 €	16 €
Charges (en €/MWhé livré)	216 €	189 €	172 €
- Investissements	104 €	83 €	66 €
- Exploitation	81 €	90 €	90 €
- Travail***	31 €	16 €	16 €
EBE avant main-d'œuvre (en €/MWhé livré)	159 €	150 €	125 €
EBE (en €/MWhé livré)	128 €	134 €	113 €
Marge nette (en €/MWhé livré)	24 €	44 €	43 €
Productivité	86 %	88 %	84 %
Temps de retour sur investissement	6 à 12 ans	6 à 12 ans	6 à 12 ans

* Subvention moyenne de 2014 €/kWé installé (25 %)

** Redevance déchet, valorisation de la chaleur et du digestat

*** Calculé sur la base d'une rémunération de travail à 2 SMIC / moy. 540 h pour 100 kWé (exploitation et suivi de l'installation / hors production de cultures dédiées et épandage des digestats)

• CAS CONCRET

EXPLOITATION DE 140 VACHES LAITIÈRES AVEC UNITE DE MÉTHANISATION DE 50 KWÉ EN COGÉNÉRATION AVEC 9 900 T D'INTRANTS - 1,8 M LITRES DE LAIT

Les repères économiques de cette exploitation sont présentés dans le tableau 2.

TABLEAU 2 : REPÈRES ÉCONOMIQUES POUR L'INSTALLATION DE MÉTHANISATION - CAS CONCRET D'UNE PUISSANCE DE 50 KWÉ

(source : données ENR2 2020, étude financée par la CNE et le Cniel)

Capital investi (après subventions)	9 720 €/kWé installé	
Produits (en €/MWhé livré)	234 €	
- Électricité	225 €	→ 98,9 k€/an
- Autres recettes	9 €	
Charges (en €/MWhé livré)	203 €	
- Investissements*	120 €	→ 85,9 k€/an
- Exploitation	78 €	
- Travail	5 €	
EBE avant main-d'œuvre (en €/MWhé livré)	156 €	→ 66,0 k€/an
EBE (en €/MWhé livré)	151 €	→ 63,9 k€/an
Marge nette (en €/MWhé livré)	63 €	→ 13,0 k€/an
Productivité	96,5 %	
Temps de retour sur investissement	7,6 ans	

* Avec charges d'investissement = 17 % fonds propres et 83 % emprunt bancaire sur 15 ans.

Optimum économique = 438 Mwhé livrés/an – 8 760 h/an

Optimum atteignable = 425 Mwhé livrés/an – 8 500 h/an

Facteurs de variation possibles :

- une baisse de 5 % des heures de fonctionnement du moteur induit une baisse des produits de 21 Mwhé/an ;
- une baisse de 5 % du potentiel méthanogène induit une baisse de 385 Nm³ de CH₄/t Matière Organique ou 23,8 Nm³ de CH₄/t Matière Brute ;
- une baisse de 5 % du tonnage annuel des intrants équivaut à 9 400 t/an.

L'un des facteurs de variation entraîne une baisse de la marge nette de 4 760 €/an.

Quels facteurs expliquent les meilleurs résultats économiques observés dans cet élevage par rapport aux références PRODIGE présentées dans le tableau 1 ?

- Un dimensionnement de l'installation prudent lors du montage du projet : potentiel méthanogène, temps de séjour de la matière, rendement moteur...
- Une très bonne productivité du moteur de cogénération qui fonctionne 8 460 h/an.
- Les performances de l'installation, sa simplicité et fiabilité (peu de problèmes techniques) permettent de maîtriser la charge de travail de l'exploitant (85 h/an), qui est très faible et réduit les charges liées à ce poste.
- La qualité du biogaz est bonne et régulière puisque la ration (composée à 97 % des effluents d'élevage de l'exploitation) est stable en quantité et qualité toute l'année.

Tous ces éléments entraînent une marge nette plus élevée malgré des investissements plus importants.

Néanmoins, si cette situation a une bonne rentabilité économique et de meilleurs résultats en comparaison à la moyenne de sa classe (installation de puissance inférieure à 140 kWé), certaines installations de petite puissance peinent à trouver une rentabilité pour les raisons suivantes : mauvaise productivité du moteur liée à des pannes et casses, surdimensionnement de l'installation et non atteinte des objectifs initiaux, variations de la ration en quantité et qualité, investissements non prévus, charge de travail sous-évaluée,...

Ce constat est vrai quelles que soient la classe et donc la puissance de l'installation.





13 %

C'est la part de la production d'énergie solaire nationale par le secteur agricole.

300

KILOWATT-CRÊTE, c'est le nouveau seuil d'appel d'offres pour développer les projets agricoles de panneaux photovoltaïques en France, annoncé par la ministre de la Transition écologique en février 2020.

• ZOOM

L'AUTOCONSUMMATION D'ÉLECTRICITÉ PRODUITE À LA FERME

Aujourd'hui, il est possible d'autoconsommer l'électricité produite par une centrale photovoltaïque et de vendre le surplus de production à un tarif de 6 cts €/kWh.

Jusqu'à aujourd'hui, les installations de panneaux solaires photovoltaïques sur une exploitation avaient systématiquement une puissance inférieure ou égale à 100 kWc, ce qui garantissait l'obligation d'achat de l'électricité produite par EDF. En février 2020, le ministère de la Transition écologique a annoncé la hausse du seuil de l'appel d'offres de 100 à 300 kWc.

Cas du solaire photovoltaïque en vente totale

En production photovoltaïque, le lien à l'activité d'élevage est plus faible ; seules les toitures des bâtiments d'élevage et/ou de stockage sont utilisées. L'énergie produite est revendue en totalité, sans bénéficier à l'activité agricole.

Le tableau 3 présente les repères technico-économiques d'une installation-type et d'un cas concret mis en place en 2017.

Quels sont les facteurs de variation de la production d'électricité par une centrale photovoltaïque ?

Les projets actuels sont relativement bien dimensionnés, avec une production de l'ordre de 103 % du prévisionnel. L'ensoleillement, l'orientation et l'inclinaison des panneaux, la température extérieure et l'entretien des installations expliquent très largement les différences de performances entre installations.

TABLEAU 3 : REPÈRES ÉCONOMIQUES POUR UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE TYPE ET UN CAS CONCRET RÉALISÉ EN 2017 (Sources : Données photovoltaïque.info 2020 et APEPHA 2017 et Institut de l'Élevage, 2020)

	Installation type de 99,9 kWc	Cas concret de 98,6 kWc
Capital investi (après subventions)*	800 à 1 200 € par kWé installé	1 236 € par kWé installé
Produits (en €/MWhé livré)	105 €	137 €
- Électricité annuelle	950 à 1 400 kWh/kWc	1 248 kWh/kWc
- Tarif de rachat (1 ^{er} trim. 2020)	10,51 cts €/kWh livré	13,68 cts €/kWh livré
Charges (en €/MWhé livré)	66 à 71 €	78 €
- Investissements	5,3 à 8 k€/an	8,1 k€/an
- Exploitation (frais ENEDIS, maintenance, entretien, assurances)	1 000 à 2 000 €/an	1 517 €/an
EBE avant main-d'œuvre (en €/MWhé livré)	89 à 94 €	125 €
Marge nette (en €/MWhé livré)	34 à 39 €	59 €
Temps de retour sur investissement	5 à 15 ans	7,9 ans

* Aujourd'hui, les aides régionales sont plutôt destinées aux projets en autoconsommation, permettant d'atteindre l'équilibre économique sur 25 ans avec un plafond (en général 50 % de l'investissement).

Cas du solaire thermique

En solaire thermique, le lien avec l'activité d'élevage est fort. L'énergie produite est autoconsommée en totalité pour couvrir les besoins de l'exploitation en eau chaude et chauffage.

Les repères technico-économiques de ce type d'installation sont présentés dans le tableau 4.

Cas du bois énergie

En production bois énergie, le lien avec l'activité d'élevage est fort à modéré. L'énergie produite peut être autoconsommée pour les besoins de l'exploitation (eau chaude, chauffage, séchage), voire des habitations à proximité. Ce type d'installation peut couvrir jusqu'à 100 % des besoins en eau chaude et chauffage d'une exploitation.

Le tableau 5 présente les repères technico-économiques d'une installation de ce type.

TABLEAU 4 : REPÈRES ÉCONOMIQUES POUR UNE INSTALLATION EN SOLAIRE THERMIQUE
(Sources : Données Ademe 2018 et GIE Elevage de Bretagne 2017)

	Installation de 7 à 100 m²
Couverture des besoins	30 à 50 % en moy. 450 kWh/m ² /an
Capital investi	600 à 1 000 € HT par m ² installé
Temps de retour sur investissement	5 à 12 ans
Subventions	1,1 €/kWh produit/an 40 à 65 % maximum (fonds Chaleur ADEME)

TABLEAU 5 : REPÈRES ÉCONOMIQUES POUR UNE INSTALLATION EN BOIS ÉNERGIE
(Sources : Données EnR2 2019 et AÎLE 2018)

	Installation de 24 à 300 kW
Couverture des besoins	30 à 100 %
Capital investi	20 à 200 k€
Temps de retour sur investissement	4 à 15 ans
Subventions	15 à 50 %



• ZOOM

L'ÉOLIEN

L'implantation d'une éolienne nécessite un gisement de vent suffisant pour que l'installation soit rentable sur sa durée de vie (20 ans). Pour le grand éolien, la majorité des machines actuelles sont installées sur des sites avec des vents moyens autour de 20 km/h (soit 6 m/s). L'implantation de parcs éoliens nécessite aussi un espace important. Cela explique que le secteur agricole supporte la majeure partie des parcs éoliens terrestres (83 %). Les parcs se situent à 53 % sur des terrains d'exploitations de grandes cultures, à 16 % sur des terrains d'exploitations de polyculture élevage.

Énergies renouvelables : contributions et opportunités pour les exploitations agricoles

Une étude réalisée par l'ADEME a permis d'évaluer la contribution directe et indirecte de l'agriculture dans la production d'énergies renouvelables en France aujourd'hui et aux horizons 2030 et 2050. Elle visait notamment à mieux connaître l'apport économique des énergies renouvelables au secteur agricole et la contribution du monde agricole à la transition énergétique du pays.

Les agriculteurs jouent dès à présent un rôle important dans la transition énergétique

En 2015, les agriculteurs ont contribué à la production de 4,6 Mtep d'énergies renouvelables, soit 20 % de la production nationale d'énergie renouvelable. Avec une consommation d'énergie finale de près de 4,5 Mtep, le secteur agricole participe autant à la production d'énergie renouvelable qu'il n'en consomme. Au sein des exploitations, les produits pétroliers représentent encore 70 % de la consommation d'énergie.

Cette contribution à la production d'énergie renouvelable est essentiellement liée à la production de biomasse pour les biocarburants et au développement de l'éolien, les terres agricoles étant très propices à l'installation d'éoliennes.

Ainsi en 2015, plus de 50 000 exploitations agricoles, soit 11 % des exploitations françaises, participent à la production d'énergies renouvelables.

Toutes les filières agricoles contribuent à la production d'énergies renouvelables

Les grandes cultures contribuent le plus à la production d'énergies renouvelables par la commercialisation des produits agricoles (blé, maïs, betterave, colza...) utilisés pour la fabrication de biocarburants (figure 2). Les grandes surfaces planes des systèmes de grandes cultures constituent une opportunité pour l'installation d'éoliennes. Les mêmes raisons, dans une moindre mesure, expliquent que les systèmes polyculture/polyélevage et bovins lait, aussi détenteurs de grandes surfaces de culture, soient les 2^e et 3^e contributeurs d'énergies renouvelables agricoles.

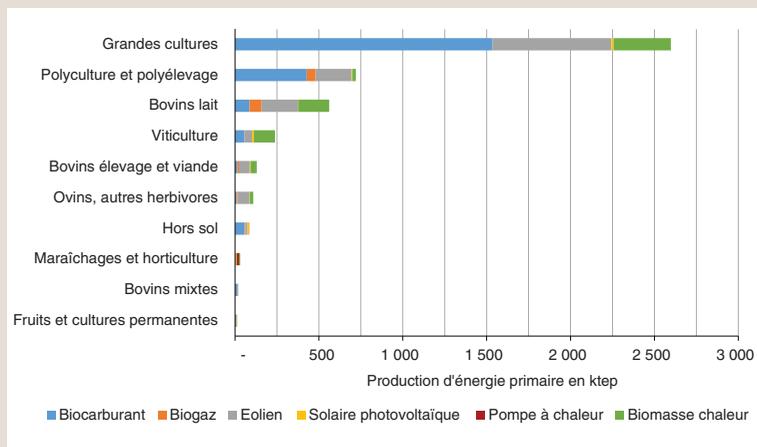
« La production d'énergies renouvelables par le secteur agricole représente un chiffre d'affaires de 1 366 millions d'euros »

Impact économique et compatibilités par filière d'élevage

La contribution à la production d'énergies renouvelables issues du secteur agricole en 2015 représente un chiffre d'affaires pour les agriculteurs de l'ordre de 1 366 millions d'euros, soit l'équivalent de 2 % du chiffre d'affaires du secteur agricole. Ce chiffre d'affaires est développé principalement par la vente de biomasse pour les biocarburants (1 057 M€). Le photovoltaïque (105 M€), la méthanisation (88 M€) et la production de biomasse pour la combustion (85 M€) génèrent également un chiffre d'affaires important.

À ce chiffre d'affaires, s'ajoutent 112 M€ d'économies sur la facture énergétique des exploitations par l'autoconsommation de biomasse, la mise en place d'installations de solaire thermique et de pompes à chaleur, soit 3,4 % des dépenses énergétiques.

FIGURE 2 : PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE PAR FILIÈRE AGRICOLE
(source : ADEME, 2018)



Il existe quatre principaux modèles d'affaires plus ou moins intégrés au fonctionnement d'une exploitation agricole :

- l'autoconsommation de chaleur, d'électricité ou de gaz pour réduire la facture énergétique (géothermie, solaire thermique, photovoltaïque, méthanisation) ;
- la production et la vente de biomasse pour la production d'énergies renouvelables (cultures pour les biocarburants et la méthanisation, bois pour la chaleur) ;

- la vente d'énergie (photovoltaïque, méthanisation) directement sur les réseaux (électricité ou gaz) ;

- La mise à disposition de surface au sol (éolien) et surface de toitures (photovoltaïque).

Le tableau 6 présente le degré de compatibilité des sources d'énergie renouvelable en fonction des types d'exploitation d'élevage.

En France,

1 624

Ktep d'énergie renouvelable sont produits par les exploitations d'élevage, toutes filières confondues.

TABLEAU 6 : COMPATIBILITÉ DES ÉNERGIES RENOUVELABLES AVEC LES DIFFÉRENTS TYPES D'EXPLOITATION D'ÉLEVAGE

	Bovins lait	Bovins viande	Veaux de boucherie	Ovins Caprins	Polyculture-Elevage	Précisions
Méthanisation en cogénération	Courant	Possible	Moins courant	Moins courant	Courant	Tous types d'élevage (mais peu fréquent en veaux de boucherie et petits ruminants) Valorisation des effluents d'élevage. Grand intérêt si possibilité de valoriser la chaleur.
Méthanisation en injection	Courant	Possible	Pas adapté	Pas adapté	Courant	Elevages avec des ressources méthanogènes disponibles en quantité sur l'exploitation. Valorisation des effluents d'élevage.
Méthanisation à température ambiante (autoconsommation)	Possible	Pas adapté	Courant	Possible	Moins courant	Très adapté pour les élevages avec des besoins en eau chaude ou chaleur réguliers et importants. Par exemple, pour valoriser le lactosérum des ateliers fermiers de transformation fromagère.
Solaire photovoltaïque - vente totale	Courant	Courant	Possible	Possible	Courant	Tous types d'élevage Valorisation des toitures des bâtiments d'élevage voire des hangars de stockage (fourrages, matériel, etc.).
Solaire photovoltaïque - autoconsommation	Possible	Pas adapté	Possible	Moins courant	Pas adapté	Adapté aux élevages avec une consommation en électricité adaptée : le jour et l'été, stable, suffisamment importante et si possible >30 000 kWh (robot de traite, transformation fromagère, hors sol avec ventilation, etc.).
Solaire thermique	Moins courant	Pas adapté	Courant	Possible	Possible	Nécessite des besoins de chaleur réguliers toute l'année (alimentation, chauffage, eau de lavage).
Chaudière biomasse	Moins courant	Pas adapté	Possible	Pas adapté	Possible	Pour des besoins en eau chaude, chauffage de bâtiments, séchage (fruits, fourrages, etc.). Valorisation du bois bocager dans les zones d'élevage.
Grand éolien	Pas adapté	Pas adapté	Pas adapté	Pas adapté	Courant	Parcs éoliens des exploitations de polyculture élevage avec des terres agricoles dégagées.
Petit éolien	Moins courant	Pas adapté	Possible	Pas adapté	Possible	Adapté pour les élevages avec une consommation en électricité régulière et importante, notamment en période hivernale. Encore peu développé en France.
Agrivoltaïsme	Moins courant	Moins courant	Pas adapté	Courant	Possible	Couplage avec une activité de pâturage des animaux, adapté pour les petits ruminants, notamment les ovins.

Courant
 Possible
 Moins courant
 Pas adapté

L'élevage, un secteur fortement impliqué dans la transition énergétique

La contribution de l'agriculture à la production d'énergies renouvelables pourrait être multipliée par 2 entre 2015 et 2030 et par 3 entre 2015 et 2050. La production d'énergies renouvelables passerait alors de 4,5 Mtep à 15,8 Mtep. Selon les hypothèses prises pour cette prospective, l'éolien et le biogaz deviendraient les premières énergies renouvelables issues du secteur agricole (figure 3).

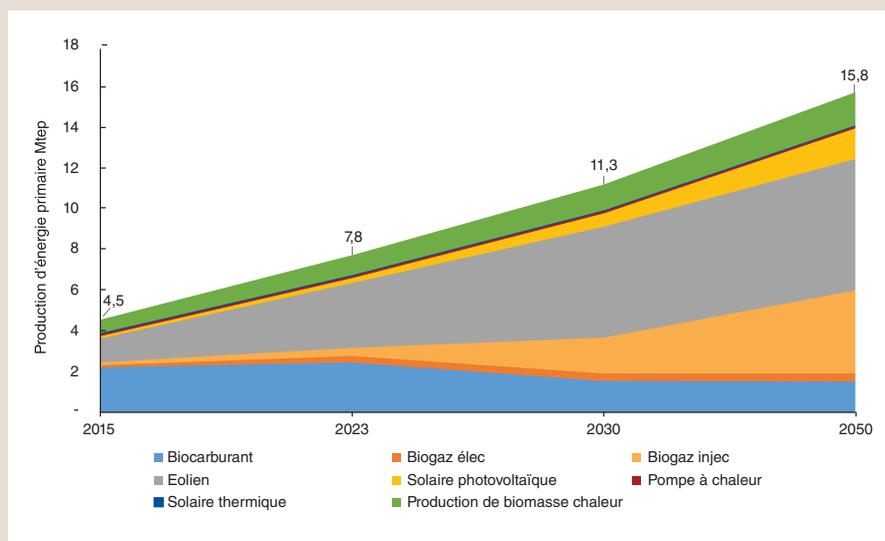
L'analyse montre par ailleurs une diminution de la part agricole dans la production de biocarburants de 1^{ère} génération (grandes cultures) et le développement des biocarburants de 2^{ème} génération à l'horizon 2050, utilisant davantage de biomasse forestière et de déchets. Aussi, la quantité totale de biocarburants issue en partie de biomasse forestière serait en augmentation, mais n'apparaît pas sur la figure 3 qui se limite à la biomasse agricole.

L'analyse prospective à l'horizon 2030 et 2050 montre également une augmentation de la part agricole des produc-

tions photovoltaïques, de l'éolien et de la méthanisation (notamment par injection de biométhane) qui devraient atteindre en 2050 une production respective de 1 504 Ktep, 6 435 Ktep et 4 129 Ktep. Ces énergies renouvelables, en plein développement, nécessitent de l'espace pour l'implantation des installations (surfaces de toitures, centrales au sol, éoliennes, ...) et des ressources en biomasse disponibles pour la méthanisation.

Les exploitations et systèmes agricoles se situent donc au carrefour des enjeux de réductions des consommations d'énergie et de développement des énergies renouvelables. Les acteurs agricoles sont ainsi les premiers pilotes d'actions combinant maîtrise de l'énergie, réduction de la dépendance aux énergies fossiles et production d'énergies renouvelables.

FIGURE 3 : ÉVOLUTION DU MIX ÉNERGÉTIQUE DE PRODUCTION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LE SECTEUR AGRICOLE (Source : Ademe, 2018)



• BIBLIO

AGRICULTURE ET ÉNERGIES RENOUVELABLES : CONTRIBUTIONS ET OPPORTUNITÉS POUR LES EXPLOITATIONS AGRICOLES
ADEME, 2018 : 205 p.

• EN SAVOIR PLUS

VERS DES FERMES BOVINS VIANDE À ÉNERGIE POSITIVE

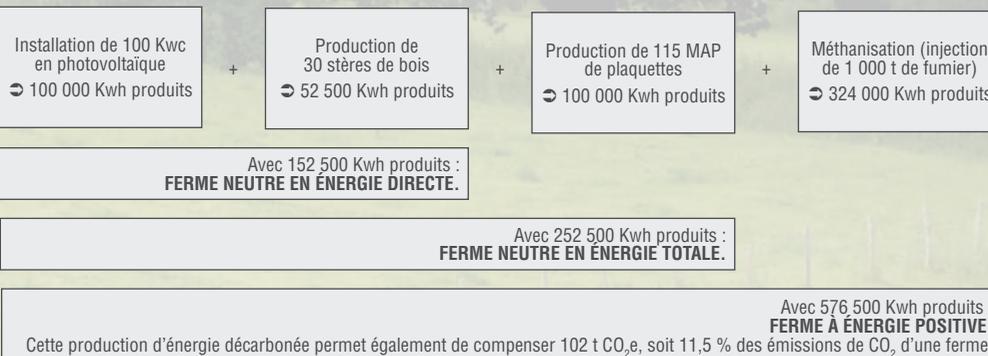
Après quelques années de réflexion sur les fermes à énergie positive, la réalité a rattrapé le concept et les énergies renouvelables permettent aux fermes d'être neutres ou positives en énergie via le photovoltaïque, la production de bois énergie ou la méthanisation.

Les résultats du programme Life Beef Carbon indiquent que les exploitations bovines viande consomment en moyenne 252 210 kWh, dont 153 848 kWh d'énergie directe. En mettant en place différentes solutions de productions d'énergie renouvelable, ces fermes peuvent atteindre plusieurs niveaux de compensation de l'énergie qu'elles consomment et ainsi devenir ferme neutre en énergie directe, ferme neutre en énergie totale voire ferme à énergie positive.

• Solution pour devenir « Ferme neutre ou positive en énergie » :

Prenons l'exemple d'une exploitation bovines viande dont la consommation d'énergie totale atteint 250 000 kWh/an et celle d'énergie directe 152 000 kWh.

Les solutions techniques à mettre en place pour atteindre la neutralité énergétique (en énergie directe et totale) et devenir excédentaire en énergie sont les suivantes :



• L'ESSENTIEL

- Dynamique, la filière photovoltaïque offre de nombreuses perspectives d'avenir pour l'élevage herbivore.
- La petite méthanisation à la ferme est rentable et performante.
- La gestion des haies d'une exploitation a de nombreux avantages : préservation des ressources, stockage de carbone, production d'énergie renouvelable.

Jean-Yves Blanchin, François Gervais, Christophe Martineau, Philippe Thorey et Hélène Chambaut (Institut de l'Élevage), Jean-Yves Carré (Chambre régionale d'agriculture de Bretagne), Thomas Gontier (Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire), Sylvain Guinebertreau (Chambre d'agriculture d'Indre-et-Loire), Sylvain Deseau (Chambre d'agriculture du Loiret) et Thomas Mahéo (élève AgroParisTech).

Les solutions techniques pour produire électricité, biogaz et chaleur à la ferme

QUE CE SOIT DANS UN OBJECTIF DE REVENTE OU D'AUTOCONSOMMATION DE L'ÉNERGIE PRODUITE, LES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR PRODUIRE DE L'ÉNERGIE RENOUVELABLE EN ÉLEVAGE SONT VARIÉES ET ADAPTABLES À CHAQUE EXPLOITATION.

Produire de l'électricité en élevage grâce au solaire photovoltaïque

Qu'ils soient investisseurs ou qu'ils mettent à disposition des surfaces de toiture, les agriculteurs jouent un rôle important dans le développement des installations photovoltaïques.

Etat des lieux et opportunités en France

Depuis le milieu des années 2000, la filière photovoltaïque ne cesse de se développer dans les élevages herbivores.

Un gisement en pleine croissance en France

Fin septembre 2019, le parc raccordé photovoltaïque en France représentait 9 649 MW, soit 704 MW de plus qu'à la fin de l'année 2018. Dans ce total, le secteur agricole intervient pour 13 %, avec une production de 1 254 MW. La surface installée en panneaux photovoltaïques en élevage est estimée à 10 millions de m².

Mais les gisements du secteur d'élevage sont loin d'être épuisés ; de nombreuses et grandes toitures ainsi que d'importantes surfaces agricoles peuvent encore accueillir des centrales photovoltaïques. Cependant, le développement de cette énergie reste encore dépendante des aides qui garantissent la rentabilité des installations.

La valorisation des toitures des bâtiments d'élevage : à réserver aux installations récentes

En France, le parc de bâtiments des 200 000 exploitations d'élevage d'herbivores subit en permanence des transformations avec de nouvelles constructions, des extensions de bâtiments ou des rénovations.

Le développement du solaire photovoltaïque est pertinent dans le cas de nouvelles constructions car il est plus difficile à mettre en œuvre sur les bâtiments existants, avec des problèmes de stabilité

• REPÈRES

KW-CRÊTE OU KWC

Le Kwc représente la puissance électrique maximale pouvant être fournie par un panneau photovoltaïque dans des conditions standards : ensoleillement de 1 kw/m², température de 25°C, ciel dégagé.

KWH CUMAC OU KWHC

« Cumac » pour « cumulé et actualisé ». Il s'agit du nombre cumulé de kWh économisés sur la durée de vie d'une installation par rapport à la performance moyenne des installations neuves.

**CONTRIBUTION DES
AGRICULTEURS À LA
PRODUCTION D'ÉNERGIE SOLAIRE
PHOTOVOLTAÏQUE**

(source : ADEME, 2018)

11 000

exploitations agricoles
(2,5 % des exploitations
professionnelles)

13 %

de l'énergie solaire nationale

Multipliée par **3**
à l'horizon 2030

Les bâtiments d'élevage et les hangars agricoles, avec leurs grandes surfaces de toitures constituent un potentiel important en matière de production solaire photovoltaïque.



Installation de panneaux solaires photovoltaïques sur un bâtiment d'élevage.

de la charpente ou de difficultés d'insertion des panneaux sur la toiture. Le besoin de modernisation du parc de bâtiments d'élevage est une opportunité pour produire de l'énergie photovoltaïque. Chaque année, les projets de constructions neuves (logement des animaux et partiellement stockage du fourrage) représentent plus de 3 millions de m² de toiture dont près de 40 % pourraient être équipés en panneaux photovoltaïques, soit 1,2 million de m² qui pourraient augmenter la puissance disponible au niveau national d'environ 150 MW.

Généralement en élevage bovin, l'orientation des bâtiments ne permet pas d'avoir un pan de toiture exposé plein sud mais plutôt sud-est. Par ailleurs, la pente des constructions agricoles se situe souvent autour de 26 %, loin de la valeur idéale de 60 % pour la production d'électricité photovoltaïque. Ces deux facteurs (exposition et pente de la toiture) entraînent une perte de production d'énergie d'environ 10 % par rapport à l'optimum.

• BIBLIO

AGRICULTURE ET ÉNERGIES
RENOUVELABLES :
CONTRIBUTIONS ET
OPPORTUNITÉS POUR LES
EXPLOITATIONS AGRICOLES

ADEME, 2018. Collection
Expertises, Synthèse, 20 p.

Le solaire photovoltaïque, une énergie à inscrire dans le territoire

Le raccordement aux réseaux de distribution de l'énergie

Au niveau du territoire, les réseaux de distribution de l'énergie sont dimensionnés de façon à minimiser les pertes et garantir une qualité de service tout en faisant transiter la quantité d'énergie voulue. Les centres de productions d'énergie sont en tête de réseau. Les points de raccordement à l'énergie en milieu rural sont le plus souvent en bout de réseau. Le réseau doit être adapté pour injecter de l'électricité produite en zone rurale afin de limiter les impacts au niveau des contraintes, prévisions et gestion de la production. Par exemple, l'intermittence de production de l'énergie photovoltaïque est une contrainte au niveau de la stabilité du courant livré chez les consommateurs.

L'implication de plusieurs acteurs locaux

Le plus souvent, le volume d'énergie produit sur le site de la ferme est excédentaire. Produire de l'électricité en s'inscrivant dans un territoire, c'est par exemple impliquer plusieurs acteurs ou recourir au financement partagé. Ces solutions sont à privilégier car elles améliorent l'acceptation des énergies renouvelables par la société et l'image de l'agriculture en général, bénéficiant ainsi à terme à la production d'énergie renouvelable et au secteur agricole. De plus, ces modèles, en particulier en financement participatif, permettraient des retombées économiques supérieures pour le territoire dans lequel s'inscrit la centrale photovoltaïque.

« Autrefois, la diversification des exploitations passait généralement par le développement d'un nouvel atelier de production animale ou végétale, désormais cela passe aussi par le développement d'un nouvel atelier de production d'énergie. D'agriculteur à énergiculteur ! »

Jean-François MOREAU, chargé de mission Energie à la Chambre d'agriculture des Pays de la Loire

Les technologies de demain

La combinaison entre photovoltaïque et pompe à chaleur ou éolien

Sur une exploitation d'élevage, il peut être envisagé des combinaisons de solutions qui optimisent la production d'énergie renouvelable.

- Le couplage entre des panneaux photovoltaïques et une pompe à chaleur. Ces deux technologies peuvent être associées pour améliorer leurs rendements respectifs. L'idée de base repose sur la récupération de la chaleur produite par les panneaux photovoltaïques afin d'améliorer le rendement d'une pompe à chaleur. Cette solution montre une amélioration de l'ordre de 20 % par rapport à un système classique où panneaux photovoltaïques et pompe à chaleur fonctionneraient de manière indépendante. Cette combinaison peut être utilisée pour une production d'électricité et d'eau chaude sur une exploitation laitière.

- Le couplage entre des panneaux photovoltaïques et une éolienne.

Il permet une production d'énergie plus régulière durant la journée (avec une baisse pendant la nuit) et facilite l'injection de la production dans le réseau mais aussi une autoconsommation de l'énergie sur l'exploitation.

Développement des moyens de stockage de l'énergie

À moyen terme, le cadre incitatif à l'autoconsommation et plus tard à l'atteinte de la parité réseau (sans ou avec peu de soutien) va favoriser le développement de l'autoconsommation de l'électricité produite. Le développement de moyens de stockage de l'énergie (batterie) facilitera aussi l'autoconsommation. Ce stockage de l'électricité pour un report de consommation de quelques heures par rapport à la période de production vers le pic de consommation de 18/19h00 répond par exemple, aux besoins d'une exploitation laitière.

• EN SAVOIR PLUS

EN BRETAGNE, LES ÉLEVEURS S'ENGAGENT DANS LA PRODUCTION D'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

Depuis 2006, le photovoltaïque se développe en Bretagne, essentiellement sous la forme d'installations pour la vente d'électricité. En 2019, on y compte, selon les chiffres du ministère de l'Écologie, 20 500 installations photovoltaïques. L'agriculture représente une part importante de ces installations, en vente d'électricité et, depuis 2019, en autoconsommation. Les agriculteurs se sont engagés pour installer du photovoltaïque dans leurs élevages, sur des bâtiments neufs et anciens. Le moratoire de 2010 a freiné son développement, mais la production moyenne de 1 080 kWh/kWc permet de dégager des revenus intéressants.

En 2009, les agriculteurs ont créé l'association **APEPHA : Agriculteurs Producteurs d'Électricité Photovoltaïque Associés** (<https://apepha.fr/>) pour échanger des informations, recenser les productions sur leurs différents sites et sécuriser leurs installations. Regroupant plus de 300 agriculteurs, cette association a développé des partenariats avec des installateurs photovoltaïques et le GIE Elevages de Bretagne pour sécuriser l'installation et le fonctionnement des installations au travers d'une charte qualité. Cela a abouti, depuis 2018, à proposer des achats groupés d'installations.

Depuis 2019, au vu de l'évolution des tarifs d'achat et sous l'impulsion du Conseil régional de Bretagne, les agriculteurs commencent à se mettre à l'autoconsommation. Ce type d'installation est particulièrement adapté pour les élevages laitiers avec robot de traite ou pour les productions en hors sol. Le taux de couverture des besoins électriques par du photovoltaïque avoisinant 20 %, le coût de production moyen sur 20 ans permet d'avoir des installations rentables par rapport à l'achat complet d'électricité auprès d'un fournisseur.



Un groupe d'agriculteurs bretons en formation photovoltaïque

• ZOOM



Les Digifermes® sont un réseau de 13 fermes expérimentales qui défendent une vision de l'agriculture connectée. Chaque ferme est appuyée par une structure de Recherche, Développement et Innovation, ce qui permet de bénéficier de leur excellence méthodologique pour mener des évaluations objectives des nouveautés technologiques. L'objectif des Digifermes® est de promouvoir une agriculture numérique qui réponde aux besoins des agriculteurs. En plus de leurs axes de travail (pilotage tactique, digitalisation, stratégie digitale et valorisation des données des exploitations), certaines de ces fermes expérimentales produisent de l'énergie renouvelable notamment à la ferme du Rheu (veaux de boucherie), la ferme ovine du Mourier (ovins viande) et la ferme des Etablières (bovins viande).

En savoir + : digifermes.com

Les DIGIFERMES® produisent de l'énergie photovoltaïque... et des références techniques sur le sujet

Dans le réseau des Digifermes®, trois fermes expérimentales produisent de l'énergie renouvelable par le biais de panneaux photovoltaïques :

- la ferme expérimentale Veaux de boucherie du Rheu (35), depuis 2012/2013 ;
- la ferme expérimentale ovine du Mourier (87), depuis 2016/2017 ;
- la ferme expérimentale Bovins viande des Etablières (85), depuis 2017/2018.

Le suivi de leur installation respective (dont les caractéristiques techniques sont présentées page ci-contre) leur permet de produire des références techniques.

Comment optimiser le rendement des installations ?

Les principaux paramètres qui influent sur la production d'énergie sont l'orientation, l'inclinaison, la température des cellules et l'ensoleillement (qui correspond à la mesure du rayonnement solaire que reçoit une surface au cours d'une période, donnée exprimée en MJ/m² ou Wh/m²). La corrélation entre l'ensoleillement et la production d'énergie est forte (figure 4).

Établir le bilan environnemental d'une exploitation équipée d'une installation photovoltaïque

Dans le cas d'une installation de panneaux solaires photovoltaïques, l'énergie produite est revendue en totalité sur le réseau, sans bénéficier au fonctionnement de l'activité agricole et sans être alimentée par elle. On est dans une situation d'indépendance totale entre les deux activités (agricoles et de production d'énergie renouvelable). Dans ce cas, le bénéfice environnemental apporté par cette énergie verte n'est pas à relier au bilan environnemental de l'activité agricole, notamment aux émissions de gaz à effet de serre. En revanche, il est possible de faire valoir cette activité de production d'énergie renouvelable comme un service rendu par l'élevage et la contribution à un mix électrique français moins carboné. On parle de bénéfice pour le territoire et la société.

Les fermes expérimentales du Mourier et des Etablières produisent plus d'énergie qu'elles n'en consomment, respectivement 4 et 8 fois plus. Ce sont des fermes à énergie positive.

FIGURE 4 : PRODUCTION MENSUELLE TOTALE RELEVÉ COMPTEUR KWH/KWC POUR L'ANNÉE 2019 DES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES DES 3 FERMES EXPÉRIMENTALES DU RHEU, DU MOURIER ET DES ETABLIÈRES EN FONCTION DU NIVEAU D'ENSOLEILLEMENT

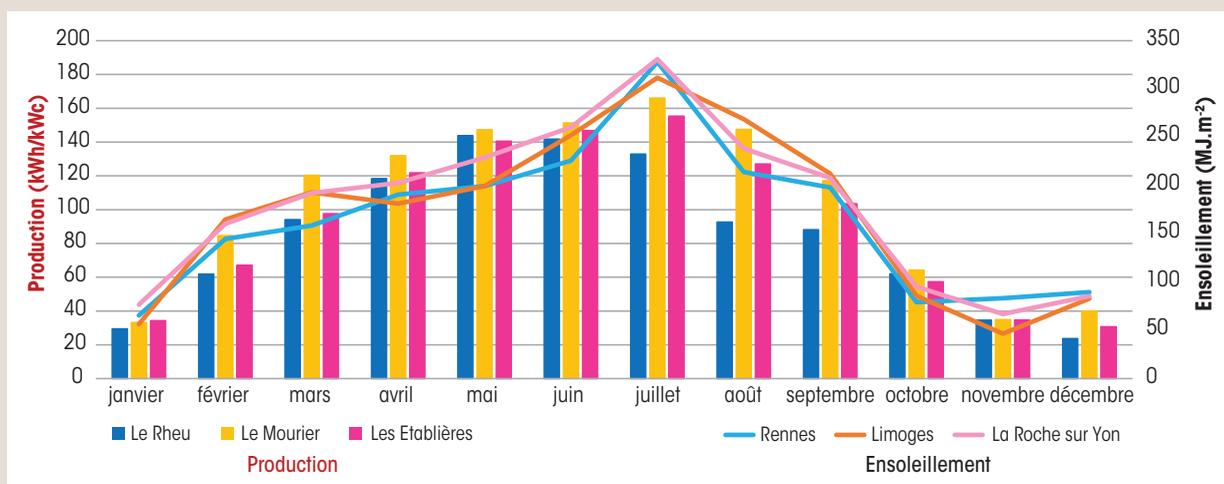


TABLEAU 7 : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES INSTALLATIONS SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES DE 3 DIGIFERMES



	Ferme expérimentale veaux de boucherie Le Rheu (35)	Ferme expérimentale ovine Le Mourier (87)	Ferme expérimentale bovins viande Les Etablières (85)
Constructeur	Tenesol (France)	SolarWorld (Allemagne)	SolarWorld (Allemagne)
Puissance installée	24 kWc	98,6 kWc	200,15 kWc
Surface de toiture	158 m ²	614 m ²	1 388 m ²
Orientation	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est
Production annuelle moyenne depuis la mise en service	24 369 kWh	123 047 kWh	227 244 kWh
Production cumulée relevé compteur depuis la mise en service (au 01/01/2020)	156 128 kWh	352 506 kWh	650 806 kWh
Production 2019	1 015 kWh/kWc	1 248 kWh/kWc	1 135 kWh/kWc
Consommations électriques annuelles	30 000 kWh	31 000 kWh	27 000 kWh
Ratio production/consommation	0,8	4	8,4
Comparaison au prévisionnel	100,1 %	103 %	106 %



• AVIS D'EXPERT

Thomas GAUTIER

Conseiller Énergie, Biomasse, Climat,
Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire



SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE : UN BESOIN DE MAINTENANCE ET DE SURVEILLANCE À NE PAS SOUS-ESTIMER

Les installations photovoltaïques ont l'avantage de n'avoir ni moteur ni pièces mobiles : il y a donc très peu d'usure sur l'installation et aucun entretien lourd à prévoir. Des opérations de surveillance et de maintenance sont toutefois nécessaires à plusieurs niveaux. Et si le nettoyage des panneaux arrive souvent en tête des préoccupations, ce n'est cependant que le dernier volet de la maintenance.

• Supervision - maintenance - nettoyage

Souvent sous-estimée ou oubliée, la **supervision** est un élément très important des installations. Elle permet :

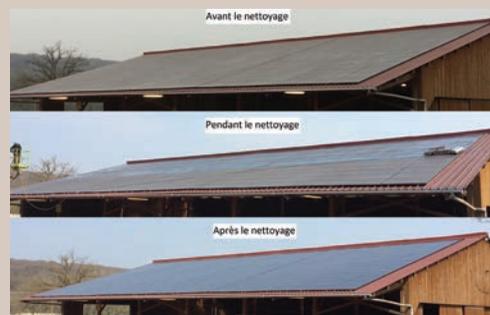
- de suivre la production de l'installation, de manière instantanée et dans la durée ; ce qui permet de comparer la production d'une année sur l'autre,
- d'être alerté en cas d'arrêt de production,
- de voir les microcoupures et ombrages et de comparer les onduleurs pour les installations qui en ont plusieurs.

Le suivi peut être réalisé à distance par les installateurs ou des sociétés spécialisées capables d'analyser les problèmes éventuels rencontrés et de proposer des solutions.

En complément de cette supervision, la **maintenance** permet de contrôler le fonctionnement de tout le système, de prévenir des pannes ou accidents et de réparer les problèmes rencontrés. Enfin, la surveillance permet de décider quand il faut faire un **nettoyage**.

• Connaissance de son système : le Dossier d'Ouvrage Exécuté

Toutes les opérations d'entretien et de maintenance sont facilitées par la connaissance précise de l'installation qui est décrite dans le DOE (Dossier d'Ouvrage Exécuté) : calepinage, répartition des chaînes, câblage, matériels...





La surveillance de l'installation photovoltaïque permet de décider quand un nettoyage est nécessaire, dans le but de maintenir ses performances de production optimales.

Le coût d'une installation de panneaux solaires photovoltaïques a baissé de 30 à 50 % en 5 ans. En 2020, il s'établit entre 800 et 1 000 € HT/KWc installé

(source : Institut de l'Élevage, 2020)

• REPÈRES

CONSOMMATION ÉLECTRIQUE MOYENNE

- Exploitation laitière de 80 vaches : 30 000 kWh
- Atelier de 400 veaux de boucherie : 28 400 kWh
- Atelier de transformation fromagère de 150 000 L : 52 000 kWh

Nouvelles pistes et opportunités en matière de solaire photovoltaïque : l'orientation plein sud n'est plus la seule configuration rentable !

Parmi l'ensemble des critères qui conditionnent la production en électricité d'une centrale solaire photovoltaïque sur toiture, deux sont liés à la conception du bâtiment : l'orientation et l'inclinaison des panneaux. En région Centre, plein sud et 35 degrés sont les conditions d'exposition optimales pour produire le maximum d'électricité. Pourtant, certains installateurs vont jusqu'à équiper des toitures orientées est/ouest !

Les toits agricoles sont moins sensibles à l'orientation

L'hiver, le soleil se lève et se couche proche de l'horizon. L'été, il se lève plus à l'Est et se couche plus à l'Ouest.

Les toitures fortement inclinées, type maisons d'habitation ou granges, orientées plein sud, valorisent donc bien le soleil bas d'hiver. Pour ce type de bâtiment, bien qu'un tiers seulement du volume annuel d'électricité soit produit d'octobre à mars, le fait de les orienter est/ouest génère une perte de production de 11 % sur cette période. À cela s'ajoute une baisse de production de 7,5 % sur la période estivale, ce qui conduit à une perte globale sur l'année proche de 20 %.

Les bâtiments agricoles visés par les projets photovoltaïques (hangars et bâtiments d'élevage) ont la particularité d'être équipés de toits plutôt plats, avec des pentes de l'ordre de 15-20°. Or, plus

un toit est plat, moins le critère de l'orientation est prépondérant. Pour les bâtiments agricoles, l'impact de l'orientation est/ouest (cas d'une toiture de 15°) se limite à 10 % de perte : 6 % sur la période hivernale et 4 % sur la période estivale (l'été, la course du soleil valorise mieux les faces situées côtés est et ouest du bâtiment).

Que les panneaux soient orientés vers l'est ou vers l'ouest, la perte de production est identique. Les implantations est/ouest sont donc en général réalisées sur les deux pans de toiture (50 % de la puissance de la centrale côté est, 50 % côté ouest), ce qui permet de doubler potentiellement la surface installée.

Quel est l'impact sur la rentabilité de l'installation photovoltaïque ?

Pour mesurer l'impact d'une orientation est/ouest sur la rentabilité d'un projet, prenons l'exemple d'une installation de 100 kWc (puissance maxi) correspondant au standard des projets réalisés actuellement sur bâtiments neufs.

Si l'orientation est/ouest d'un bâtiment agricole génère une perte limitée de 10 % sur la production d'électricité, l'impact sur le revenu global s'élève quant à lui à 31 % car les frais de fonctionnement restent identiques quel que soit le niveau de production.

Quand envisager d'équiper une toiture orientée est/ouest ?

Dans le cadre d'un contrat de revente totale de l'électricité produite, démarche dans laquelle on recherche une performance maximale de l'investissement, l'analyse du taux de rentabilité montre que les projets sur toitures orientées est/ouest restent compétitifs par rapport à un taux de placement bancaire. Le bénéfice dégagé sur 20 ans contribuera à mieux rentabiliser l'activité agricole développée sous la toiture.

Le solaire photovoltaïque permet donc de répondre plus facilement à un besoin de bâtiment : attention toutefois au financement du projet et son impact sur la trésorerie ! La vente d'électricité, d'autant plus si elle est réduite de 10 %, ne couvre pas toujours l'annuité d'emprunt de l'ensemble « bâtiment + centrale solaire photovoltaïque ».

Sur une construction neuve, une exposition plein sud est à privilégier. Toutefois,

la conception du bâtiment (position et hauteur du faîtage, hauteur sous pannes, orientation, accès) doit être guidée par son utilisation et non par l'objectif de rentabilité de la centrale. Se décaler vers l'est ou l'ouest peut s'avérer positif pour le fonctionnement quotidien de la ferme. Cela ne doit pas remettre en cause la réflexion sur l'intérêt du photovoltaïque.

Sur les bâtiments existants, le solaire photovoltaïque reste un bon moyen de rénover une toiture à moindre coût. Les centrales peuvent également être montées sur la couverture existante sans démontage de celle-ci. Le support (bac acier ou fibro) doit être en bon état, la charpente suffisamment résistante pour supporter le poids supplémentaire et l'entraxe de pannes compatible avec le cahier des charges du système de fixation des panneaux.

Dans une démarche d'autoconsommation, l'indicateur du prix de revient du kWh produit est plus intéressant à examiner. Le prix des panneaux solaires ayant fortement baissé ces dernières années et celui du kWh acheté ne cessant d'augmenter, le prix du kWh solaire photovoltaïque commence à être compétitif. Encore faut-il avoir la capacité d'autoconsommer l'énergie produite.



Le cas échéant, l'orientation est/ouest peut être considérée comme plus intéressante qu'une orientation sud puisqu'elle permet de lisser la production d'électricité sur la journée. Elle limite le pic pendant midi. Cette logique d'implantation est évoquée par les fournisseurs d'énergie qui achètent l'électricité sur le marché, le prix du kWh étant plus élevé le matin et le soir car la demande est plus forte à ces moments de la journée.

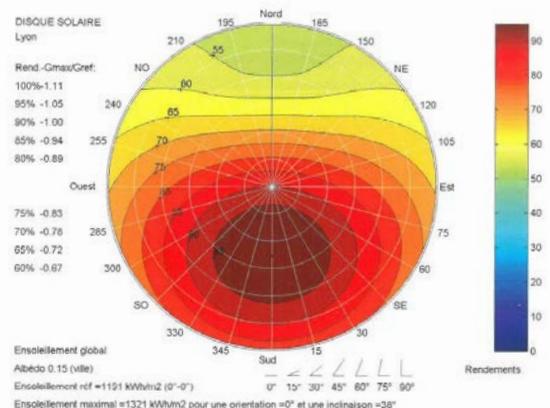
• BIBLIO

GUIDE DE RECOMMANDATIONS À DESTINATION DES PORTEURS DE PROJET PHOTOVOLTAÏQUE
ADEME, 2019. Collection Clés pour agir, 148 p.

TABLEAU 8 : FACTEURS DE CORRECTION POUR DÉFINIR DIFFÉRENTES INCLINAISONS ET ORIENTATIONS DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (source : ADEME, 2019)

Inclinaison	Orientation			
	0°	30°	60°	90°
Est	0,93	0,90	0,78	0,55
Sud-Est	0,93	0,96	0,88	0,66
Sud	0,93	1,00	0,91	0,68
Sud-Ouest	0,93	0,96	0,88	0,66
Ouest	0,93	0,90	0,78	0,55

FIGURE 5 : EXEMPLE DE DISQUE SOLAIRE CORRESPONDANT À LA VILLE DE LYON ET À UN ALBÉDO DE 0,15 (source : CEA)



• ZOOM**L'AGRIVOLTAÏSME, LIER PRODUCTION AGRICOLE ET PRODUCTION D'ÉNERGIE**

L'agrivoltaïsme se définit comme le couplage entre une activité de production agricole et une activité de production photovoltaïque sur une même emprise foncière. Cela permet le maintien de la destination agricole du foncier ou des installations. Ce type de centrale photovoltaïque au sol se développe. Un groupe de travail se met en place pour étudier des solutions équilibrées entre les productions (par exemple, électricité et élevage ovin). Ces travaux ont pour objectif de définir les critères pour qu'une telle installation soit acceptable au regard de l'intérêt du couplage entre production agricole et production d'électricité en matière d'aménagement du territoire, de préservation de l'agriculture et de la biodiversité, de transition énergétique. Ils aborderont la question du maintien de la pérennité de la vocation agricole des terrains : modes de construction respectueux des terrains, démantèlement, modalités juridiques et urbanistiques.

L'énergie photovoltaïque en autoconsommation, une solution rentable

Face à des prix de l'électricité qui augmentent et des coûts d'installation photovoltaïque en baisse, il devient rentable de produire sa propre électricité.

Pour quelles exploitations ?

L'autoconsommation nécessite une consommation électrique adaptée :

- pendant la période de production photovoltaïque : le jour et l'été ;
- avec une consommation stable ;
- suffisamment importante, si possible supérieure à 30 000 kWh par an.

Ainsi, les projets en autoconsommation sont particulièrement adaptés pour les exploitations ayant du matériel fonctionnant en continu et consommant beaucoup d'énergie : robot de traite, atelier de transformation fromagère, atelier hors sol équipé de ventilation (veaux de boucherie).

À quel tarif est-ce rentable ?

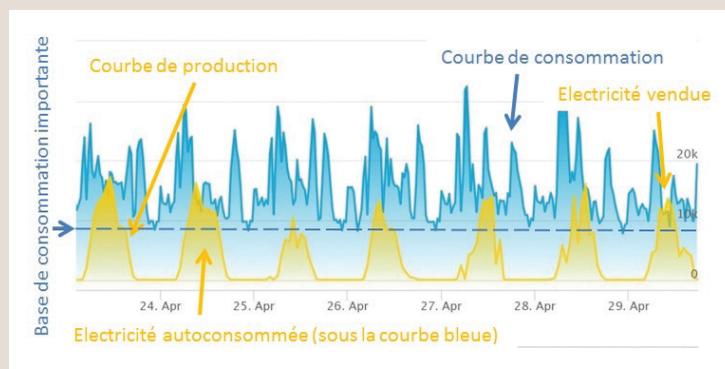
En considérant le coût du kWh acheté, la contribution au service public de l'électricité (CSPE) et les taxes communale et départementale, un projet peut s'envisager à partir de 10 c€/kWh.

Quel dimensionnement prévoir ?

Un dimensionnement adapté nécessite une connaissance de ses consommations. Celles-ci peuvent être récupérées directement sur les compteurs linky, via une demande à Enedis et à son fournisseur pour les compteurs de plus de 36 kW, ou via la pose d'un enregistreur.

Ces données sont ensuite intégrées dans un logiciel (AutocalSol ...) qui permet, à partir d'une puissance photovoltaïque choisie, de superposer les courbes de

FIGURE 6 : SUPERPOSITION DES COURBES DE CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ D'UNE EXPLOITATION AGRICOLE ET DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ D'UNE INSTALLATION DE PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES EN AUTOCONSOMMATION (source : AutocalSol)



consommation et de production (figure 6). Il est ensuite possible de calculer le taux d'autoconsommation (= électricité consommée/électricité produite) et le taux d'autoproduction (électricité produite/électricité consommée) et de faire l'exercice pour plusieurs puissances. L'électricité non consommée est vendue ; c'est la vente du surplus.

La rentabilité attendue

En fonction des puissances choisies, on peut faire un calcul de rentabilité en prenant en compte tous les paramètres : le prix d'achat de l'électricité, les coûts d'installation des panneaux, de l'assurance, de location du réseau (Turpe), de financement, de l'entretien, mais aussi des hypothèses comme l'augmentation annuelle du tarif d'achat du courant et des charges et la perte de production des panneaux (tableau 9).

TABLEAU 9 : RENTABILITÉ D'UNE INSTALLATION DE PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES EN AUTOCONSOMMATION EN FONCTION DE LA PUISSANCE INSTALLÉE (source : Chambre d'agriculture 71)

Puissance (en KW)	Financement (en €)	Gain sur 20 ans (en €)	
		si inflation de 3 %	si inflation de 5 %
9	14 000	16 754	25 090
15	23 333	29 156	42 897
25	27 500	58 329	79 864
36	40 000	62 435	89 445
50	55 000	72 822	104 777

• EN SAVOIR PLUS

AUTOCALSOL

Logiciel de pré-dimensionnement pour les installations solaires photovoltaïques en autoconsommation.

<https://autocalSol.ressources.ines-solaire.org>

• ZOOM

LA PETITE MÉTHANISATION

La petite méthanisation agricole désigne les installations qui fonctionnent à l'échelle d'une seule exploitation et avec une autonomie en intrants supérieure à 90 %. Par conséquent, ces exploitations ne sont pas dépendantes d'intrants extérieurs pour faire fonctionner la méthanisation. Dans la plupart des cas, les déjections animales (lisiers, fumiers) et les effluents d'élevage (eaux vertes et blanches) constituent plus de 95 % de la ration du digesteur. Les installations qui intègrent ce modèle de méthanisation ont une puissance inférieure à 100 kWé et produisent de l'énergie électrique revendue et/ou de la chaleur autoconsommée par l'exploitation d'élevage. En matière de technologie, 70 % des installations sont en voie liquide et 30 % en voie sèche. Pour 70 % des installations, le biogaz est valorisé en cogénération et pour 30 %, pour alimenter une chaudière présente sur l'exploitation.

En filière biogaz, le développement de modèles à l'échelle de l'exploitation

Economiquement fragiles au début des années 2010, les installations de petite méthanisation à la ferme sont aujourd'hui rentables et performantes.

Chaque année, 15 à 20 nouvelles installations de petite méthanisation sont mises en service.

La petite méthanisation connaît une progression remarquable depuis 2006. Il faut dire que cette technologie offre de réels avantages !

Quinze ans d'expériences, riches d'enseignements

Comme le montre la figure 7, la méthanisation à la ferme a connu deux premières phases de développement : en 2012/2013 (1) et en 2015/2016 (2) avec 44 unités mises en service en France. Quelques-unes de ces premières installations ont fait l'objet d'un suivi technico-économique complet qui a permis de montrer la pertinence technique de ces unités et des résultats prometteurs, malgré la fragilité économique parfois constatée (ADEME, 2016).

Ces enseignements, pris en compte par les acteurs de la filière biogaz, ont permis d'améliorer la fiabilité des procédés et la rentabilité économique des petites installations. Aujourd'hui, de nombreux éleveurs

font le choix de ce modèle de méthanisation et participent à son développement, comme en témoigne la figure 7, en 2019 (3) et 2020 (projets validés au 31/01/2020). La France compte ainsi un peu plus de 100 installations d'une puissance inférieure ou égale à 100 kWé, principalement localisées dans les grandes zones d'élevage (Bretagne, Pays de la Loire) et dans les zones de montagne avec un élevage morcelé (Auvergne – Rhône-Alpes) où les modèles collectifs ne sont pas envisageables (voir carte 3).

Les facteurs de réussite de la petite méthanisation

Ils sont de trois ordres.

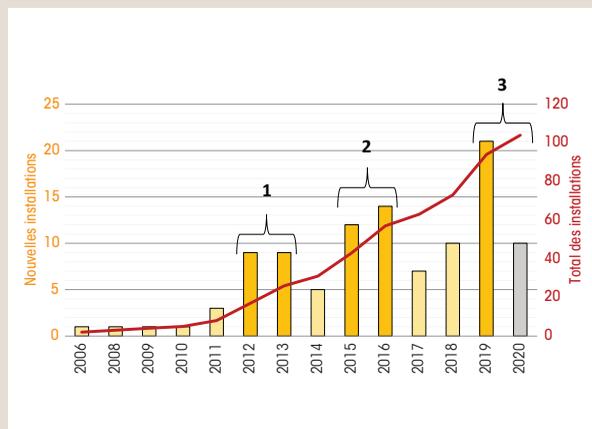
• Le dimensionnement

C'est en dimensionnant bien l'installation dès le montage du projet que celle-ci a le plus de chance de bien fonctionner. Les premiers retours d'expérience montrent qu'il faut être prudent :

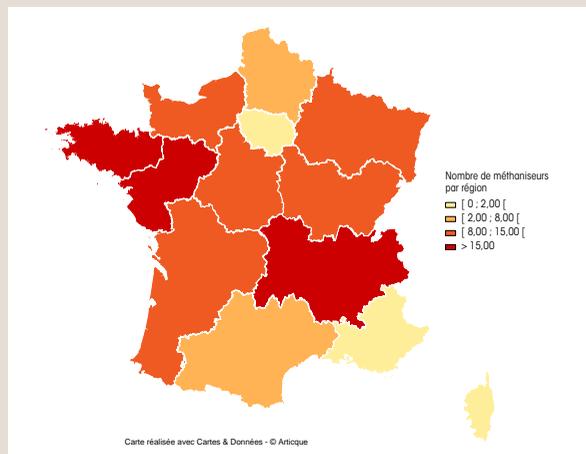
- sur la valeur du potentiel méthanogène des intrants pour la production de biogaz,
- sur le rendement du moteur de cogénération qui ne doit pas être surestimé au risque de ne pas atteindre les objectifs initiaux.

La première année, il est indispensable de prendre en compte les garanties constructeur : capacité de l'installation à fonctionner en rendement stabilisé au bout d'une

FIGURE 7 : ÉVOLUTION DU NOMBRE D'INSTALLATIONS DE PETITE MÉTHANISATION EN FRANCE ENTRE 2006 ET 2020 (source : Institut de l'Élevage, 2020)



CARTE 3 : RÉPARTITION RÉGIONALE DES INSTALLATIONS DE PETITE MÉTHANISATION EN FRANCE EN 2019 (source : Sinoé, 2020)



période définie et selon les performances indiquées, assistance pour le suivi de l'installation, etc..

• **La ration**

Une ration homogène (en quantité et en qualité) est un facteur de réussite et assure la production d'un biogaz valorisable toute l'année.

• **La charge de travail**

Il est très important de bien évaluer la charge de travail à consacrer à ce type de projet pour ne pas avoir de mauvaises surprises et de prévoir la trésorerie pour pouvoir éventuellement faire face à des investissements imprévus (panne, casse, etc.). La maîtrise des charges liées au travail et à l'exploitation de l'unité est déterminante pour permettre de dégager une bonne marge nette, malgré des investissements souvent plus élevés (> 9 000 €/kWé installé).



Chaque année en France, 15 à 20 nouvelles installations de petite méthanisation sont mises en service.

• **EN SAVOIR PLUS**

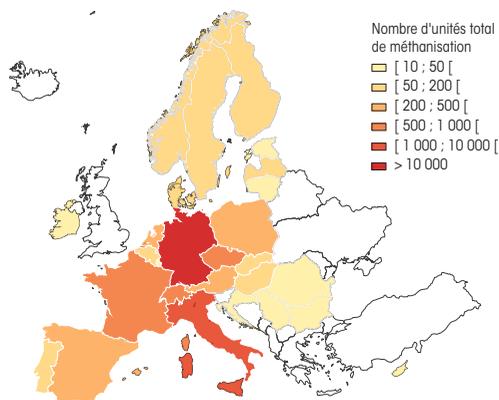
LA MÉTHANISATION EN EUROPE : L'ALLEMAGNE EN TÊTE

L'Allemagne est le leader Européen avec près de 11 000 unités en fonctionnement (61 % des unités de l'Union européenne). L'Italie arrive en deuxième position avec 9 % des installations, suivie par la France qui représente 4 % du parc européen en nombre d'unités de méthanisation (carte 4).

Concernant l'origine du biogaz, les stratégies sont différentes d'un pays à l'autre (figure 8). Alors que l'Allemagne et l'Autriche utilisent beaucoup de cultures énergétiques pour alimenter les digesteurs (ensilage de maïs, betteraves, etc.), la France a fait le choix de construire son modèle de méthanisation agricole sur la valorisation énergétique des déjections et effluents d'élevage (> 60 % de la ration).

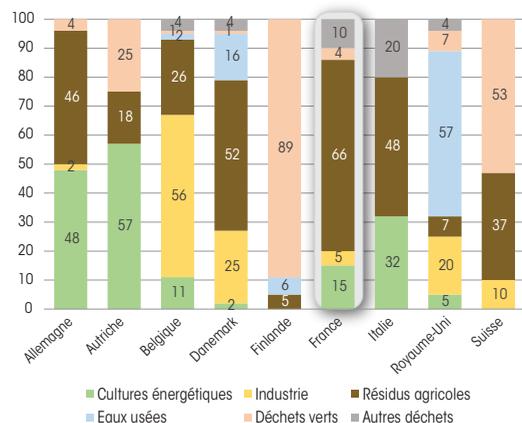
La France compte 12 constructeurs ; l'Allemagne, la Belgique et les Pays-Bas, chacun 5.

CARTE 4 : LA MÉTHANISATION DANS LES PAYS EUROPÉENS EN 2017 (source : EBA, 2018)



Carte réalisée avec Cartes & Données - © Articoque

FIGURE 8 : ORIGINE DU BIOGAZ DANS LES PAYS EUROPÉENS EN 2014 (source : EBA, 2018)



**• ZOOM****LA PETITE MÉTHANISATION,
PREMIÈRE ÉTAPE DANS LA PRODUCTION
DE BIOGAZ À PLUS GRANDE ÉCHELLE**

Une installation de petite méthanisation peut être une première étape avant d'augmenter la puissance. Une petite unité à la ferme dimensionnée pour valoriser les effluents d'élevage peut permettre à des éleveurs qui se lancent de vérifier leurs capacités à pouvoir gérer ce nouvel atelier et s'assurer de la qualité des intrants pour produire du biogaz, et cela avec un investissement modéré par rapport à de plus grosses unités. Ainsi, plusieurs éleveurs convaincus du procédé après 2 années de fonctionnement, envisagent d'augmenter la puissance pour mieux valoriser leurs intrants (augmentation du temps de séjour et meilleure expression du potentiel méthanogène).

La méthanisation à température ambiante, un nouveau procédé performant

La méthanisation à température ambiante cumule les avantages : utilisant les ouvrages déjà existants, elle permet de réaliser de substantielles économies d'énergie tout en diminuant les émissions d'ammoniac et de méthane au stockage.

Le principe de fonctionnement de cette méthanisation passive

Les effluents d'élevage émettent naturellement du biogaz (comprenant du méthane ainsi que d'autres composés) au stockage. La méthanisation à température ambiante, c'est-à-dire sans chauffer le lisier (aussi appelée méthanisation passive ou psychrophile), est moins productive que la méthanisation mésophile (réalisée à 37°C), notamment en période hivernale. Néanmoins, le biogaz libéré vers l'atmosphère est une source d'énergie potentiellement valorisable.

Depuis 2014, l'entreprise Nénufar-biogaz propose un procédé de couverture de fosse flottante capable de capter le biogaz émis durant le stockage du lisier. Ce biogaz, constitué à plus de 55 % de méthane, est ensuite brûlé par une chaudière spécifique pour produire de l'eau chaude utilisée pour l'élevage (alimentation des porcs ou des veaux de boucherie, eau chaude sanitaire ou pour la transformation à la ferme, etc.).

Ce procédé peut s'adapter sur toutes les fosses de stockage des effluents liquides existantes. Il a donc un coût d'investissement et de fonctionnement réduit par rapport à une installation de méthanisation plus classique, de type mésophile.

Un procédé mis au point en stations expérimentales

Ce procédé a fait l'objet de nombreuses mises au point dans le cadre de programmes de recherche avec la réalisation de suivis complets.

En 2014, c'est à la ferme expérimentale de Paris Grignon que la première installation a été mise en service, sur la fosse à lisier de la stabulation des vaches laitières. L'objectif était de valoriser le biogaz pour produire de l'eau chaude pour l'atelier de transformation.

La couverture Nénufar, ici à la station expérimentale Veaux de boucherie du Rheu (35) capte le biogaz émis durant le stockage du lisier.



En 2016, la station expérimentale porcine des Chambres d'agriculture de Bretagne de Guernevez a équipé une de ses fosses existantes (Prométhys, financement ADEME et Conseil Régional de Bretagne). Il s'agissait de tester l'intérêt de la méthanisation du lisier de porc à basse température et d'étudier la faisabilité opérationnelle du procédé Nénufar et ses conditions de rentabilité. Le procédé a été techniquement validé au bout de 2 ans de fonctionnement et l'intérêt de la méthanisation passive démontré. Avec une teneur en méthane de 63,1 % et une production d'énergie thermique équivalente à 30 000 kWh, ce sont 40 % des besoins théoriques de l'élevage qui ont été couverts.

En 2018, la Chambre d'agriculture régionale de Bretagne, l'Institut de l'Élevage et la FRCUMA de l'Ouest ont sollicité l'ADEME Bretagne dans un projet de recherche commun (MéthaN'H3) pour accompagner cinq éleveurs de porcs et de veaux de boucherie ainsi que l'AGESEM, la ferme expérimentale veaux de boucherie du Rheu (35). Tous les sites ont été équipés d'une couverture de fosse Nénufar et d'une ligne de valorisation de biogaz en chaudière.

À la ferme expérimentale Veaux de boucherie du Rheu, l'installation a été équipée d'un système d'acquisition de données pour enregistrer les paramètres de fonctionnement en continu : tempéra-

• REPÈRES

MÉTHANISATION PSYCHROPHILE

On parle de méthanisation psychrophile lorsqu'il n'y a pas de système de chauffage du réacteur et que la réaction bactérienne se déroule à température ambiante (entre 5 et 25°C). Les cinétiques de production de biogaz sont alors variables en fonction de la température du milieu. On observe une production ralentie en hiver, mais toujours significative au-delà de 5°C.

MÉTHANISATION MÉSOPHILE

On parle de méthanisation mésophile lorsque le réacteur de méthanisation est maintenu à une température entre 35 et 40°C. C'est le fonctionnement le plus répandu, que ce soit pour des installations agricoles ou industrielles. En effet, les bactéries issues présentes dans les effluents d'élevage proviennent de l'estomac des animaux où la température est de 37°C.

La méthanisation mésophile permet d'avoir de bons rendements de digestion avec une très bonne stabilité du processus bactérien.

ture de la fosse, biogaz consommé, etc. En 2019, 21 % des besoins annuels de la station pour chauffer l'eau ont été couverts par le biogaz (le prévisionnel se situait à 31 %), soit 1 250 m³ de méthane consommés par la chaudière pour fournir de l'eau chaude pour l'alimentation des veaux.

Les quelques mois de suivi de l'installation de la station du Rheu ont permis de mettre en évidence certains points d'attention concernant ce système en élevage de veaux de boucherie, dont notamment l'intérêt d'éviter au maximum la dilution du lisier avec les eaux de lavage.

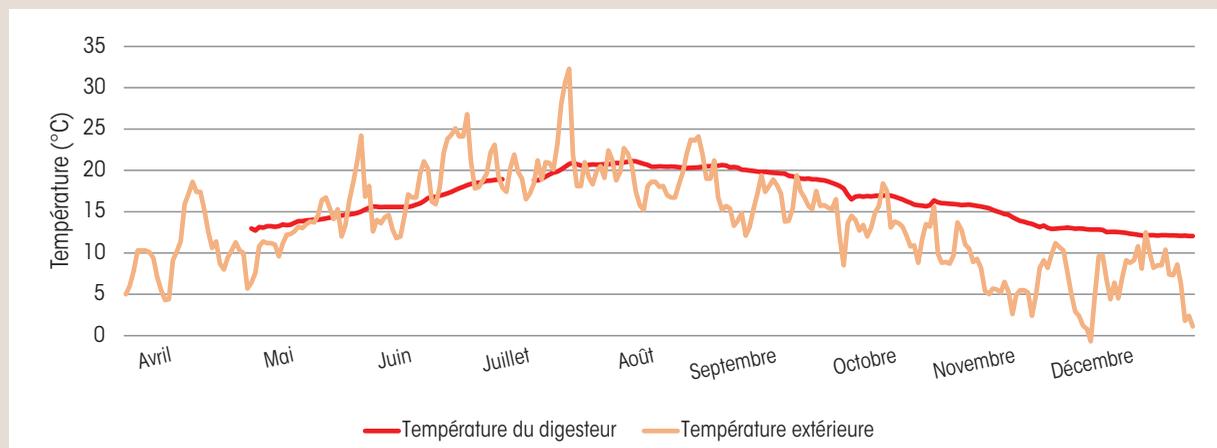
« Les enjeux de la méthanisation à température ambiante sont multiples : réduction des émissions d'ammoniac, de gaz à effet de serre et d'odeurs au stockage des lisiers, production d'énergie renouvelable qui vient en substitution directe d'énergie fossile sur l'élevage, préservation de l'azote et réduction de l'usage des engrais minéraux, réduction des volumes de lisiers à épandre du fait de l'absence de dilution par les eaux de pluie et gain de carburant .»

Des niveaux de couverture des besoins dépassant les 50 %

En 2019, un suivi complet de l'installation de la ferme de Paris Grignon après plusieurs années de fonctionnement a été réalisé. Ce suivi a permis de décrire précisément le fonctionnement du procédé sur une année complète. Ainsi, les 3 500 m³ de lisier de vaches laitières qui ont transité dans la fosse de stockage ont permis de fournir 16 763 Nm³ de biogaz consommé par la chaudière pour la production d'eau chaude de l'atelier de transformation. Ce sont donc 94,6 MWth qui ont été produits, soit près de 60 % des besoins de l'atelier.

Il est à noter que la température du lisier varie en fonction de la température extérieure (figure 9). Les basses températures hivernales ont un impact sur la production de biogaz qui diminue. Néanmoins, le phénomène se trouve limité si la fosse est enterrée ou semi-enterrée. Un apport régulier de lisier frais permet de maintenir une bonne stimulation bactérienne et une production de biogaz de qualité durant cette période.

FIGURE 9 : COMPARAISON DE LA TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE ET DE LA TEMPÉRATURE AU SEIN DE LA FOSSE À LISIER DE L'INSTALLATION DE MÉTHANISATION À TEMPÉRATURE AMBIANTE DE LA FERME EXPÉRIMENTALE DE PARIS GRIGNON AU COURS D'UNE ANNÉE DE FONCTIONNEMENT (source : Ferme de Paris Grignon, 2019)



La méthanisation des effluents de fromagerie en élevage caprin, bovin et ovin

La gestion du lactosérum est une problématique à part entière pour les exploitations de transformation laitière fermières car :

- son rejet directement dans le milieu naturel est interdit par la réglementation ;
- sa charge polluante élevée ne permet pas un traitement dans une filière classique « eaux blanches ».

Plusieurs solutions ont été validées pour traiter le lactosérum : la consommation directe par les animaux, le stockage - épandage sur prairies, le dispositif SBR (réacteur biologique séquentiel) ou le filtre à pouzzolane.

Dans le but de retirer des bénéfices au traitement du lactosérum, la station expérimentale caprine du Pradel, avec ses partenaires (Valpronat et Institut de l'Élevage) a mis en place, en 2011, un méthaniseur qui a une double fonction : épurer le lactosérum et produire de l'énergie.

Un pilote miniaturisé spécialisé dans le traitement des eaux peu chargées

Le pilote installé à la ferme du Pradel ne traite que le lactosérum. Ce parti pris a permis de miniaturiser le méthaniseur (à 1 m³) en excluant le fumier et les effluents peu chargés donc peu fermentescibles (eaux blanches, eaux vertes) ce qui laisse augurer un coût raisonnable mais avec le challenge de parvenir à un dispositif stable et facilement pilotable en routine.

Le biogaz obtenu est brûlé en vue de produire l'eau chaude nécessaire au nettoyage de la fromagerie.

Des résultats techniques prometteurs

Les résultats obtenus sont très encourageants :

- le pilote est capable de traiter 94 litres de lactosérum/jour apportés en fractionné, soit un temps de séjour de 8,2 jours.
- le taux d'abattement de la DCO oscille entre 80 et 90 % (avec une valeur à l'entrée de 80 g/l).
- le traitement de 1 m³ de lactosérum permet de produire 20 à 30 m³ de biogaz.



Des améliorations nécessaires avant le déploiement dans les élevages

Les essais menés depuis 2011 au Pradel sur le pilote ont permis de mettre à jour des pistes d'amélioration du dispositif. Ainsi, il apparaît que l'introduction de supports plastiques limite le lessivage des bactéries méthanogènes et que l'apport des micronutriments (oligo-éléments) améliore la stabilité des process biologiques.

Néanmoins, certains freins techniques doivent être levés avant une diffusion commerciale :

- la production nette d'énergie doit être augmentée en améliorant l'isolation, le rendement de la chaudière, le système de mélange voire la température de fonctionnement (37°C actuellement).
- l'important dépôt de tartre après 7 années de fonctionnement suggère de trouver une solution pour limiter l'entartrage, source de pannes.
- La stabilité biologique est fragile car l'apport de lactosérum acide issu de transformation lactique (pH = 4,5) dans un méthaniseur fonctionnant à la neutralité peut entraîner des acidoses bloquant la production de biogaz.

L'objectif d'une solution « clé en main » de méthanisation du lactosérum paraît atteignable dans les trois années à venir. En plus de garantir le respect des réglementations, ce dispositif permettra d'améliorer l'autonomie énergétique des exploitations, de diminuer les émissions de gaz à effet de serre et de donner une image moderne et dynamique des fromageries fermières.

Les quantités de lactosérum générées par un atelier de transformation fromagère sont importantes. Un mètre cube de lactosérum peut produire 20 à 30 m³ de biogaz.

• REPÈRES

- En production fromagère, 1 litre de lait transformé génère 0,75 l de lactosérum et nécessite 1 l d'eau chaude en fromagerie.
- La DCO (Demande Chimique en Oxygène) du lactosérum varie entre 50 à 70 g/l, bien supérieure à celle des eaux usées domestiques (< 1 g/l). La mesure de la DCO permet de quantifier la teneur en matière organique présente dans l'effluent. Etant donné que la pollution rencontrée dans le cas des effluents de fromagerie est essentiellement organique, cet indicateur est très pertinent.



Chauffe-eau solaire thermique en élevage de veaux de boucherie : les tubes sous vide exposés au soleil assurent le chauffage de l'eau qui alimente directement le ballon de production d'eau chaude de l'exploitation.

850 €

C'est l'investissement moyen par m² installé.

43 m²

Surface moyenne des capteurs installés sur une exploitation correspondant à une production moyenne de 24 000 kwh/an.

Produire de la chaleur en élevage grâce au solaire thermique et à la filière bois énergie

Le solaire thermique, de l'énergie bon marché à autoconsommer

Cette technologie compétitive et fiable permet aux éleveurs de s'affranchir d'une partie de leur dépendance aux énergies fossiles et de réduire ainsi leur facture énergétique.

Une technologie simple et facile à mettre en œuvre

Afin de réduire leur facture d'énergie et participer à la protection de l'environnement, Mme Berty et Mr Broissin, de l'EARL La pépinière à Saint-Pierre-de-Chevillé (72), cherchaient une solution durable et économique pour leur atelier de 364 places de veaux de boucherie, en intégration avec Denkavit. L'élevage consomme 8 litres de buvée/veau, chauffés à 48°C, et ce matin et soir, soit un total de 6 m³ d'eau à chauffer chaque jour.

Après avoir visité des installations, ils ont opté pour une centrale solaire thermique. Leur installation, brevetée par Fengtech référencée depuis chez Denkavit, a été réalisée par Elevance, filiale du groupe Agrial à Château du Loir (72) en septembre 2018. Installé en moins de 10 jours, ce système fonctionne de façon très simple grâce à une seule pompe de circulation.

Il s'agit d'une technologie solaire thermique utilisant les rayonnements solaires directs, diffus et réfléchis. C'est un système hybride qui se connecte au système de chauffage existant. Ces chauffe-eaux solaires produisent de l'énergie thermique pour une autoconsommation (eau chaude à consommer sur place).

Plus de 60 % d'économies d'énergie dans un atelier de veaux de boucherie !

Le système installé à l'EARL La pépinière stocke 3 600 litres d'eau chaude par jour dans 12 ballons de 300 litres chacun. L'énergie solaire est captée grâce à 360 tubes sous vide de haute performance.

Au terme d'un an de fonctionnement, les éleveurs ont observé une économie d'énergie de 4,5 tonnes de propane par an, soit 62 % de leur facture d'avant l'installation solaire.

Concrètement, grâce à la centrale solaire thermique, ils ont consommé 4 kg de propane/veau/an au lieu de 10,5 kg de propane/veau/an. En parallèle, ils ont réduit leurs émissions de CO₂ de 13 tonnes par an environ.

L'installation est autofinancée : l'économie d'énergie réalisée permet de couvrir le remboursement bancaire et de générer des revenus, et ce dès la première année avec le financement de 42 000 € amortis sur 5 ans.



• AVIS D'EXPERT

Christophe MARTINEAU

Chef de projet « Production et qualité de la viande de veau », Institut de l'Élevage



EN VEUX DE BOUCHERIE : PRODUIRE PLUSIEURS TYPES D'ÉNERGIES RENOUVELABLES SUR UNE MÊME EXPLOITATION

La particularité de l'élevage du veau de boucherie du point de vue des consommations d'énergie se situe au niveau de la production d'eau chaude qui représente à elle seule 75 % des besoins énergétiques en bâtiment. Le gaz propane demeure la principale source d'énergie utilisée actuellement pour le chauffage de l'eau dans les élevages français. Sous réserve que les dispositifs d'aides à l'investissement restent attractifs, les installations solaires thermiques combinées à la méthanisation passive semblent particulièrement adaptées à la production d'eau chaude sanitaire, surtout si celle-ci s'avère constante au cours de l'année comme c'est le cas dans la plupart des élevages de veaux de boucherie.

La filière bois énergie, moins connue mais pleine d'avenir

Cette solution robuste combine gestion durable du bois de l'exploitation et production de chaleur pour le fonctionnement des ateliers d'élevage.

L'état des lieux des haies en France en 2020

La forte diminution des linéaires de haie en France, suite aux remembrements et à l'intensification fourragère des années 1970 et au déclin de l'élevage en région, est désormais significativement plus faible du fait des mesures de la PAC (BCAE VII) et du soutien à la plantation en région (MAEC).

Les fermes de ruminants contribuent au maintien des haies dans les territoires. Ainsi, en moyenne les 3 169 fermes laitières enquêtées dans le cadre du programme Life Carbone Dairy (2017) entretiennent en moyenne 109 mètres linéaires de haies par hectare de surface laitière (surfaces fourragères et cultures autoconsommées par le troupeau). Leur importance varie en fonction des régions (climat, tradition, filière de valorisation des bois) et des systèmes fourragers (figure 10).

Les avantages de la gestion des haies et de la filière bois énergie

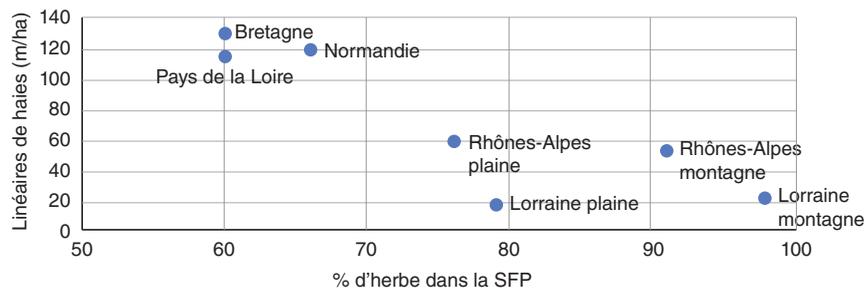
Planter des haies pour valoriser le bois de son exploitation comme source d'énergie renouvelable présente un triple avantage vis-à-vis de la problématique climatique.



Préserver les ressources énergétiques non renouvelables et les émissions de CO₂ afférentes

Le carbone émis lors de la combustion du bois énergie provient du CO₂ capté par l'arbre dans l'atmosphère *via* la photosynthèse quelques années auparavant. Lorsque le bois énergie produit sur la ferme remplace l'utilisation de fuel ou de gaz, il évite le relargage dans l'atmosphère de carbone fossile. L'intérêt de la substitution énergétique sur le climat dépendra donc du type d'énergie remplacée en aval (et notamment son origine nucléaire ou non) et des émissions générées autour de l'activité bois. Sont ainsi comptabilisées dans l'activité bois énergie, les émissions de CO₂ liées à l'utilisation de carburant des engins pour planter, entretenir, récolter et mettre à disposition le bois

FIGURE 10 : LINÉAIRES DE HAIES DANS LES SURFACES DES EXPLOITATIONS LAITIÈRES SELON LA PLACE DE L'HERBE DANS LA SFP ET LES RÉGIONS (source : Life Carbon Dairy, 2017)



• BIBLIO

RÉSULTATS DU PROJET CASDAR ARBEL : L'ARBRE DANS LES EXPLOITATIONS D'ÉLEVAGE HERBIVORE.

Disponibles sur idele.fr





Les services multiples des haies seront bientôt mieux rémunérés dans le cadre de la labellisation des fermes bas carbone.

et indirectement aux émissions générées pour la construction des engins de gestion des haies, tuteurs, matériels de protection, fabrication d'engrais si utilisé.

Production concomitante de matériaux renouvelables

L'entretien d'une haie ou la plantation d'arbres sur l'exploitation motivée par l'activité bois énergie, entraîne également une captation de carbone atmosphérique par l'arbre qui reste stockée dans la biomasse non exploitée : troncs, branches non récoltées, développement des racines. Ce bois « non brûlé » peut servir à fabriquer planches, piquets, poutres, bardages sur l'exploitation et ainsi éviter la fabrication de produits manufacturés (poutres d'acier ou béton, divers plastiques...) ou non (achat et transport de pailles litières remplacées par de la litière bois). Le gain énergétique et climatique pour la planète est variable selon le type de produit remplacé (GES évité, ressources naturelles préservées).

Stockage de carbone dans les sols sous la haie

L'arbre, via la production annuelle de litières (chute de feuilles) et la dégradation des ligneux (branches, racines) contribue à enrichir le sol, sous la haie, en matières organiques. Ce carbone issu de l'atmosphère est stocké durablement dans les sols. Des mesures réalisées récemment à l'ouest de la France dans l'étude Carbocage (INRAE, Chambres d'agriculture des Pays de la Loire) ont permis de quantifier ces apports au sol jusqu'à 90 cm de profondeur et à différentes distances de la ligne d'arbre (figure 11). Un stock de carbone plus abondant à proximité de la haie qu'au centre de la parcelle est constaté aussi bien pour des parcelles cultivées qu'en prairie (stockage supplémentaire lié à la haie). La quantité de carbone présent dans le sol est variable selon la distance à la haie et selon l'âge de celle-ci. Autour de 60 % du carbone supplémentaire lié à la haie est ainsi stocké dans le sol de surface (0 à 30 cm) situé à moins de 1 m de la haie. Tous sites confondus (21 parcelles), les arbres jeunes stockent 58 kg C/an pour 100 mètres de haie (moyenne entre les plantations et 15 ans d'âge), puis 39 kg/an entre 15 et 30 ans. Ces valeurs sont moindres que celles utilisées actuellement dans le diagnostic CAP'2ER® (125 kg C/100 mètres linéaires de haie) ou issues de la bibliographie récente (750 kg C/an par hectare de haie bordant les cultures dans Pellerin et al. 2019, soit 187 kg C/100 mètres linéaires en supposant la parcelle bordée de haie sur ses 4 côtés) (tableau 10).

• EN SAVOIR PLUS

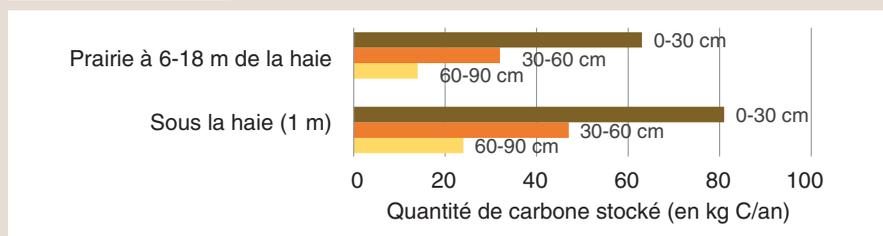
UN LABEL POUR PRÉSERVER LES HAIES



Lancé officiellement en octobre 2019 au Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, le Label Haie a pour ambition de préserver les haies en renversant la dynamique d'érosion bocagère en France, tout en appuyant le développement de filières haies-bois bocager durables. Ce label définit pour la première fois et avec précision les principes de gestion durable des haies. Il participe à donner une valeur économique au bois issu des haies, avec un double objectif de produire du bois énergie et du bois d'œuvre tout en garantissant un renouvellement de la ressource et un maintien des paysages bocagers durables et fonctionnels.

Source : AFAC Agroforesteries

FIGURE 11 : STOCKAGE DE CARBONE LIÉ AUX HAIES SUR UNE PROFONDEUR DE 0-90 CM (source : Viaud et al., 2019)



La figure 12 permet de repositionner ce stockage dans le sol comparativement à celui des parties ligneuses de l'arbre. Globalement, le stockage annuel de carbone dans les matières organiques du sol est du même ordre que celui des racines. Le bénéfice environnemental global lié au carbone stocké est comptabilisé en équivalent dioxyde de carbone dans les bilans carbone d'exploitation en utilisant un facteur de conversion (1T carbone équivalait à 44/12 T équivalent CO₂).

D'autres effets bénéfiques des haies peuvent être davantage reliés au paysage comme ses bénéfices sur la biodiversité ou la fonction anti érosive des haies talutées placées perpendiculairement aux pentes pour maintenir les sols dans

les parcelles. En évitant la perte de sol et de matière organique par ruissellement, ces haies contribuent également au maintien des stocks de carbone sur l'exploitation. Si limiter ce déplacement de matière organique vers les cours d'eau est souhaité pour le maintien de la fertilité du sol agricole, son intérêt global pour la problématique climatique dépend du devenir de cette matière organique : re-déposition des matières organiques dans les parcelles en aval, dans le lit d'un cours d'eau, sédimentation et fermentation dans les vasières... Il est donc rarement intégré dans les comptabilités environnementales autour du climat qui comptabilisent souvent uniquement les effets de pratiques aux portes des « exploitations » plus que sur le territoire environnant.

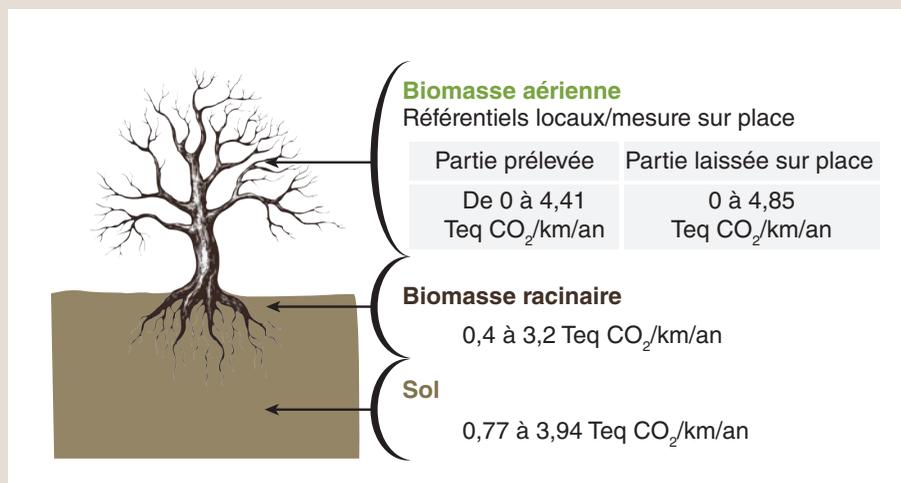
25

C'est la production annuelle en mètre-cube apparent plaquettes d'1 km de haie

TABLEAU 10 : STOCK DE CARBONE OBSERVÉ SUR TROIS SITES CARBOCGE (source : Viaud et al, 2019)

Age de la prairie	kg C/an/100 ML de haie		
	2 sites en Pays de la Loire	1 site en Finistère	Moyenne des 3 sites
Haie 0-15 ans	44	110	58
Haie 15-30 ans	23	74	39
Moyenne 0-30 ans	34	96	48

FIGURE 12 : RÉPARTITION DU STOCKAGE DE CARBONE PRÉSENT DANS LA HAIE BORDANT UNE PRAIRIE (source : Carbocage, INRAe – CRA Bretagne – Pays de la Loire, 2019)



• REPÈRES

MAP

Mètre-cube Apparent Plaquettes.

PCS

le pouvoir calorifique supérieur désigne le dégagement maximal théorique de chaleur qu'on peut tirer d'un combustible lors de sa combustion.

PCI

le pouvoir calorifique inférieur ne prend pas en compte la chaleur de condensation de la vapeur d'eau qui se dégage lors de la combustion. Ce PCI est souvent employé pour comparer l'intérêt calorifique de différents combustibles. Il peut être exprimé en MJ/kg ou kWh/kg.



Le bois énergie comme source de production de chaleur et de réduction des émissions de CO₂

Les chaudières bois permettent de fournir de la chaleur aux fermes qui en sont grandes consommatrices : ateliers

de transformation, veaux de boucherie, séchage des fourrages, etc. L'installation d'une telle chaudière peut également être l'occasion de raccorder la ou les maisons d'habitation proches.

Exemple d'installation en production veaux de boucherie

Un atelier veaux de boucherie de 800 places a installé, en 2018, une chaudière bois plaquettes de 50 kW alimentée en bois agricole local.

La chaudière produit 170 000 kWh d'énergie par an et consomme pour cela 180 MAP de plaquettes en remplacement de 13 tonnes de propane. Cette substitution d'énergie permet une économie de 42 tCO₂e.

Exemple d'installation dans un atelier de transformation fromagère

Une ferme a installé une chaudière plaquettes pour le chauffage et l'eau chaude de la fromagerie, le chauffage du bureau du Gaec, de la maison d'habitation et d'un logement en location. Les 5 000 litres de fioul ont été substitués par 54 m³ de plaquettes valorisés par la filière bois énergie. Cette substitution d'énergie permet une économie de 14,5 tCO₂e.

• REPÈRES

40 MAP
= 35 000 kWh

1 TONNE DE PAILLE
= 4 MAP de plaquettes

• EN SAVOIR PLUS

LES COMBUSTIBLES PEUVENT SE PRÉSENTER SOUS DIFFÉRENTES FORMES

• Les bûches

Une bûche est considérée comme sèche à moins de 25 % d'humidité, avec un temps de séchage minimum de 2 ans.
PCI moyen : 4 kWh/kg (résineux).

• Le bois décheté ou plaquette

= déchetage ou broyage du bois issu de l'exploitation des haies de l'exploitation. Un temps de séchage est nécessaire (6 mois à 1 an) pour atteindre un taux d'humidité moyen de 20-30 %.
PCI moyen : 3,3 kWh/kg.

• Les granulés de bois

= cylindre (6-8mm x 30mm) de sciure de bois compressée sans agent de liaison, avec un taux d'humidité inférieur à 10%.
PCI entre 4,6 et 5,3 kWh/kg.

La biomasse n'est considérée comme une source d'énergie renouvelable que si sa régénération est au moins égale à sa consommation. L'utilisation du bois ne doit pas conduire à une diminution du nombre d'arbres. Les certifications forestières (PEFC, FSC...) sont, par exemple, le gage d'une gestion durable des forêts.

Source : ADEME 2018.

• ZOOM

L'ARBRE DANS LES FERMES BOVINES : DE MULTIPLES AVANTAGES

Les arbres dans l'activité agricole, c'est en premier lieu des linéaires de haies en bordures de champs et le développement naissant de l'agroforesterie. L'intérêt de l'arbre est multiple tant pour l'environnement (lutte contre l'érosion, régulation des cycles NPC, source d'énergie renouvelable) que pour l'élevage (feuilles comme ressource alimentaire des animaux, fonction d'abri, bois litière ou matériaux, etc...). Des fiches pratiques issues du programme Arbele renseignent éleveurs et conseillers sur ces atouts.
+ d'infos : www.idele.fr





• L'ESSENTIEL

- La prise en compte de l'énergie verte dans le bilan environnemental d'une exploitation doit obéir à certaines règles.
- La méthanisation est une source d'énergie verte intéressante comparativement au mix électrique français.
- Le label bas carbone est une réponse pour valoriser la réduction des émissions de GES en exploitation.

Armelle Gac, Hélène Chambaut, François Gervais, Jean-Baptiste Dollé et Catherine Brocas (Institut de l'Élevage), Thomas Mahéo (élève AgroParisTech), Céline Laboubee (Solagro) et Armelle Damiano (Aile Asso)

Bilan environnemental de la production d'énergie renouvelable à la ferme

PRENDRE DU REcul SUR LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ÉNERGIES RENOUVELABLES PRODUITES SUR UNE EXPLOITATION AGRICOLE N'EST PAS CHOse FACILE. CE CHAPITRE APORTE DES ÉLÉMENTS DE COMPRÉHENSION ET EXPLIQUE LA FAÇON DE LES INTÉGRER DANS LES BILANS ENVIRONNEMENTAUX AU TRAVERS D'EXEMPLES.

• REPÈRES

GES'TIM+ Référentiel méthodologique pour l'évaluation de l'impact environnemental des activités agricoles

Son contenu s'appuie sur des réflexions conduites par les instituts techniques agricoles (Institut de l'Élevage, ARVALIS-Institut du végétal, IFIP-Institut du porc, ITAVI-Institut technique des filières avicole/cunicole/piscicole), avec l'avis de l'ADEME et de Solagro, à partir de méthodes, outils et travaux préexistants, tels que Climagri, Diaterre (ADEME, 2015), DIGES (Bioteau & Dabert, 2009), Méterri (Levasseur et al., 2018) ou Méthalaé (ADEME, Solagro, 2018). Une nouvelle version 2020 est disponible sur le site de l'ADEME et des partenaires.

Production et consommation d'énergie renouvelable à la ferme : comment les intégrer dans les bilans environnementaux des activités agricoles ?

Lorsqu'une exploitation agricole utilise et/ou produit une source d'énergie renouvelable, moins impactante pour l'effet de serre, il est tentant de faire valoir ces économies de CO₂ dans le bilan des activités agricoles. Cependant, des précautions doivent être prises en tenant compte de la manière dont activité agricole et production d'énergie sont interconnectées.

Bien définir la place de l'énergie verte au sein de l'exploitation

Le guide méthodologique GES'TIM+ propose un cadre méthodologique et des références pour permettre d'intégrer, dans les bilans des émissions de gaz à effet de serre et le bilan énergétique des activités agricoles, l'impact de la consommation d'énergie renouvelable et la contribution

des exploitations à la production d'énergie verte. Pour cela, il propose de distinguer deux cas de figure, en fonction du circuit que suit l'énergie (figure 13).

• **Cas de figure 1** : la production d'énergie verte produite à la ferme est revendue en totalité sans bénéficier au fonctionnement de l'activité agricole et sans être alimentée par elle (cas de panneaux photovoltaïques installés par un producteur d'énergie sur un bâtiment d'élevage existant). Il s'agit donc de deux activités indépendantes et le bénéfice environnemental apporté par cette énergie renouvelable n'est pas à relier au bilan environnemental de l'activité de production agricole. Elle est en revanche prise en compte dans le mix électrique national.

• **Cas de figure 2** : l'activité agricole fournit des substrats, des bâtiments ou des surfaces pour la production d'énergie et/ou autoconsomme tout ou partie de

l'énergie produite (cas de la méthanisation). Les deux activités sont en interaction : l'activité agricole a mis en place une installation (portée par un ou plusieurs agriculteurs) qui lui permet de réduire ses émissions de gaz à effet de serre et, en conséquence, l'empreinte carbone de ses produits agricoles. Le bilan environnemental de l'activité agricole doit tenir compte, au moins en partie, de cette activité annexe que constitue la production d'énergie.

Il sera donc possible de tenir compte d'un bénéfice environnemental en lien avec une production donnée (échelle atelier, échelle produit lait ou viande) uniquement dans le 2^{ème} cas de figure. Dans les autres cas (bois énergie, photovoltaïque), il s'agit d'une activité distincte ou annexe à l'activité d'élevage, dont on pourra tenir compte à l'échelle de l'exploitation.

Prise en compte de l'énergie verte dans les bilans environnementaux des exploitations agricoles

Le guide GES'TIM+ propose des préconisations pour la prise en compte de la production et/ou la consommation d'énergie renouvelable dans les bilans environnementaux en agriculture.

Prise en compte de la consommation d'énergie renouvelable à la ferme

Concernant la consommation d'énergie

verte par une exploitation agricole, deux cas de figure sont à considérer.

- **Cas de figure 1** : si la source d'énergie renouvelable consommée par l'exploitation est indépendante des activités agricoles (ex : achat d'énergie verte produite par un tiers), les impacts environnementaux de cet intrant peuvent être considérés en mobilisant des références d'analyse de cycle de vie (poids carbone réduit du kWh utilisé).

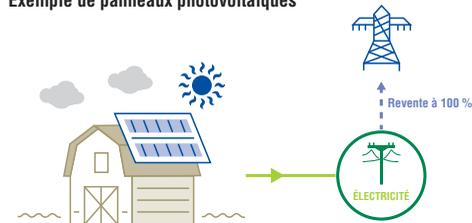
- **Cas de figure 2** : si l'origine de l'énergie renouvelable est liée au fonctionnement d'un atelier agricole sur la même exploitation (cas de la méthanisation, alimentée par les effluents d'élevage, l'autoconsommation de bois énergie ou d'électricité photovoltaïque), la consommation d'énergie fossile achetée pour l'activité agricole est réduite à hauteur de la production d'énergie verte autoconsommée. Néanmoins, la consommation d'énergie fossile nécessaire au fonctionnement de l'unité de production d'énergie verte est à prendre en compte. Dans le cas de la méthanisation, l'énergie produite (électricité ou biométhane) n'est pas autoconsommée par l'exploitation agricole, en dehors de la chaleur de cogénération qui peut être valorisée pour le chauffage d'ateliers (veaux) ou d'eau.

FIGURE 13 : MODALITÉ DE PRISE EN COMPTE DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE VERTE DANS LE BILAN ENVIRONNEMENTAL DES EXPLOITATIONS AGRICOLES

SITUATION N° 1 :

ACTIVITÉ AGRICOLE ET PRODUCTION D'ÉNERGIE SONT INDÉPENDANTES

Exemple de panneaux photovoltaïques

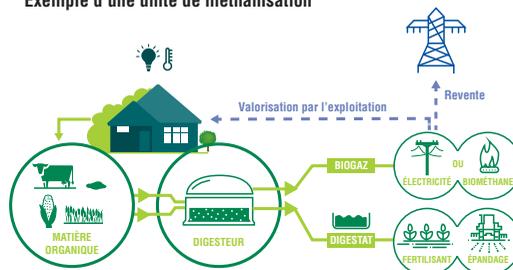


↳ Le bénéfice environnemental apporté par l'énergie verte produite ne peut être relié au bilan environnemental de l'activité agricole.

SITUATION N° 2 :

ACTIVITÉ AGRICOLE ET PRODUCTION D'ÉNERGIE SONT EN INTERACTION

Exemple d'une unité de méthanisation



↳ Le bénéfice environnemental apporté par l'énergie verte produite peut être, au moins en partie, intégré au bilan environnemental de l'activité agricole.

Dans les deux cas, il y a substitution d'énergie fossile par de l'énergie renouvelable, au moins en partie. La réduction des émissions de CO₂ est bien prise en compte dans le calcul du bilan de l'exploitation ou de l'atelier de production considéré. Il est possible de mentionner que la consommation d'énergie fossile a été réduite, mais il ne faut pas intégrer les émissions de CO₂ évitées ("bonus") dans le calcul du bilan, ce qui reviendrait à faire un double compte.

Prise en compte de la production d'énergie renouvelable à la ferme

En fonction de la situation et du type d'installation, la production d'énergie renouvelable bénéficie (tableau 11) :

- à la société, en cas de revente sur le réseau ;
- au territoire, en cas de revente à un équipement de collectivité ;
- et/ou directement à l'exploitation agricole en cas d'autoconsommation, pour l'ensemble de ses activités ou pour l'un de ses ateliers.

Le bilan environnemental pourra alors faire apparaître :

- des réductions de consommations d'énergie fossile lorsqu'il y a substitution par le biais de l'autoconsommation d'énergie verte ;
- des indicateurs de consommation et de production de manière distincte dans les cas où la production d'énergie renouvelable de l'exploitation ne se substitue pas à sa consommation (par exemple en mentionnant qu'il s'agit d'une production d'énergie verte qui contribue à diminuer la part des énergies fossiles dans le mix énergétique national).

À quelle échelle réaliser le bilan environnemental ?

Le bilan environnemental peut être réalisé à différentes échelles en fonction des situations (tableau 11) : à l'échelle unitaire de l'exploitation agricole ou à l'échelle d'un atelier bénéficiant de l'énergie renouvelable et donc, dans ce cas, traduisible dans un indicateur à l'échelle du produit (exemple : empreinte carbone du lait qui aura une valeur réduite ; CO₂ évité/litre de lait ou kg de poids).

55 g
Émissions directe et indirecte de CO₂ liées à la production d'1 kWh d'électricité photovoltaïque

TABLEAU 11 : LES DIFFÉRENTS TYPES DE PRODUCTION D'ÉNERGIE EN EXPLOITATION AGRICOLE, ÉCHELLE DU BÉNÉFICIAIRE, ÉCHELLE POUR LA RÉALISATION DES BILANS ENVIRONNEMENTAUX, AVEC OU SANS SUBSTITUTION ET TYPE DE BILAN POSSIBLE
(X : substitution ; Y : pas de substitution, consommation et production doivent être présentées de manière distincte)

Énergie produite	Intérêt pour			Échelle pour bilan environnemental		
	l'exploitation	la société	le territoire	produit	atelier	exploitation
Biomasse chaleur	X	X	X	X	X	X
Méthanisation passive (thermique ; autoconsommation)	X	(X)	-	X ³	X ³	X ³
Méthanisation cogénération (électricité + thermique)	X ¹	X	X ²	Y ou X	Y ou X	Y ou X
Méthanisation injection biogaz	X	X	X	/	/	Y
Photovoltaïque (revente)	X	X	X	/	/	Y
Photovoltaïque (autoconsommation)	X	(X)	-	X	X	X
Solaire thermique (autoconsommation)	X	(X)	-	X	X	X
Grand éolien	X	X	X	-	-	-
Petit éolien (autoconsommation électrique)	X	(X)	-	X	X	X

¹si valorisation de la chaleur en substitution d'une énergie fossile

²si chaleur utilisée par un équipement collectif

³au prorata de l'autoconsommation

• EN SAVOIR PLUS

ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE (GES) DIRECTES ET INDIRECTES LIÉES À LA PRODUCTION D'ÉNERGIE EN FRANCE (Source : Base Carbone Ademe (V11.0.0 18 novembre, 2014) & EDF (2017))

Source d'énergie		Facteur d'émission du kWh*	
		(en g CO ₂ eq / kWh moyen produit)	
Non renouvelable	Nucléaire	12	
	Énergies fossiles	Charbon	1 040
		Fuel**	704-840
		Gaz naturel	406-600
Renouvelable	Hydraulique	24	
	Eolien	11	
	Biogaz	11	
	Solaire thermique***	27	
	Solaire photovoltaïque***	55	

*ACV incluse
*le périmètre des données ACV comprend l'amont et la combustion
**ACV hors recyclage en fin de vie

• BIBLIO

DIATERRE®, GUIDE D'ANALYSE ET D'INTERPRÉTATION.
ADEME, 2015

LA MÉTHANISATION, LEVIER DE L'AGROÉCOLOGIE – SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DU PROGRAMME METHALAE.
ADEME et Solagro, 2018. 14 p.

DIGES - APPLICATION POUR LE CALCUL DU BILAN DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DES INSTALLATIONS DE DIGESTION ANAÉROBIE.
Biotteau T. et Dabert P., 2009. Guide méthodologique, 57 p.

GES'TIM® : LA RÉFÉRENCE MÉTHODOLOGIQUE POUR L'ÉVALUATION DE L'IMPACT DES ACTIVITÉS AGRICOLES SUR L'EFFET DE SERRE, LA PRÉSERVATION DES RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES ET LA QUALITÉ DE L'AIR.
ARVALIS, IDELE, IFIP, ITAVI, CTIFL, Terres Inovia, IFV, 2020. 560 p.

Possibilité de comparer une situation par rapport à une autre

Une situation donnée peut être comparée à un ou plusieurs scénarios (par exemple un scénario de cogénération comparé à un scénario alternatif de production de chaleur + production d'électricité). Cela suppose des choix ou hypothèses crédibles sur la solution alternative choisie. Les résultats des deux situations comparées peuvent alors être mis en regard, en restant distincts, ou peuvent être soustraits l'un de l'autre pour raisonner en bilan net (cas de DIGES), émissions de gaz à effet de serre évitées ou consommation d'énergie fossile substituée. Dans ce cas, il est recommandé de le préciser dans la dénomination de l'indicateur et d'accompagner le résultat d'explications sur les modalités de calcul et sur les scénarios comparatifs retenus. La méthode de calcul et de choix des scénarios devra être transparente pour éviter des interprétations

erronées de la part des utilisateurs ou une communication qui pourrait être perçue comme abusive ou mensongère.

Les indicateurs d'impacts ou de bilans environnementaux peuvent aussi être associés à des indicateurs complémentaires ou des éléments de communication positive. Il est recommandé, là encore, de préciser, au besoin, les modalités de calcul et l'interprétation qui peut en être faite. Parmi les indicateurs complémentaires possibles, citons :

- % Énergie renouvelable / total énergie consommée par la ferme ;
- % Énergie renouvelable produite / total énergie consommée.

Lorsque l'énergie produite est revendue, il est possible de faire valoir cette activité comme un service, avec un indicateur qui montre la contribution au mix électrique français moins carboné.

L'analyse environnementale de la méthanisation en élevages bovins

L'évaluation des performances environnementales de la production de biogaz agricole en utilisant l'approche par analyse de cycle de vie (ACV) est utile pour aborder les différents intérêts que peuvent avoir ces installations, notamment du point de vue de la fourniture d'une énergie renouvelable et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre des élevages qui la valorisent.

Bilan environnemental d'unités de méthanisation en élevages bovins

Dans le cadre de récents projets sur la méthanisation, Méterri (Levasseur, 2017) et EnR² (2020), des bilans environnementaux par ACV ont été établis sur différents types d'unités de méthanisation en élevages bovins laitiers. Trois scénarios pour un élevage adapté d'un cas type (Cas Type-S1, Cas Type-S2 et Cas Type-S3) et un Cas Réel (CR), sont présentés dans le tableau 12.

L'évaluation réalisée vise à répondre à deux questions :

- quel est le bilan environnemental de la

- production d'énergie par méthanisation ?
- quel est le bilan environnemental des élevages bovins qui intègrent la méthanisation ?

Les résultats confirment l'intérêt de la méthanisation comme source d'énergie verte comparativement au mix électrique français

Les quantités d'énergie produite et valorisée (électricité vendue et chaleur valorisée), en kWh, à partir des différentes unités de méthanisation sont comparées au kWh du mix électrique français (électricité basse tension, utilisée dans le secteur agricole) à travers quatre critères environnementaux :

- le changement climatique,
- la consommation d'énergie non renouvelable (nucléaire et fossile),
- l'eutrophisation des eaux,
- l'acidification des milieux.

En comparaison au mix électrique français, produire de l'énergie renouvelable par la méthanisation réduit la consommation d'énergie non renouvelable (nucléaire et fossile) entre 60 et 90 % (tableau 13). En revanche, sur le plan de l'impact sur le climat, de l'acidification des

TABLEAU 12 : CARACTÉRISTIQUES DES 4 UNITÉS DE MÉTHANISATION À LA FERME ÉTUDIÉE (Source : CASDAR Meterri, 2017 et Projet EnR2, 2020)

Unités	Cas réel (CR)	Cas Type-S1	Cas Type-S2	Cas Type-S3
Type de méthanisation	Petite méthanisation - Puissance installée 50 kW Voie liquide		Méthanisation - Puissance installée 200 kW Voie liquide	
Caractéristiques de l'élevage	Élevage Laitier – Cas Réel 150 VL 9 598 litres / VL Temps au bâtiment : 100 % % maïs / SFP : 67 % Concentrés : 107 g/L	Élevage Laitier – Cas Type ⁽¹⁾ 63 VL 8 000 litres / VL Temps au bâtiment : 72 % % maïs / SFP : 39 % Concentrés : 217 g/L		
Substrats	Effluents d'élevage • Fumier mou de raclage + eaux blanches et vertes (9 900 tMB/an) • Issues de céréales (73 tMB/an)	Effluents d'élevage • Lisier (1 250 tMB/an)	Effluents d'élevage • Lisier + Fumier (8 500 tMB/an) Cosubstrat d'exploitation • Cultures énergétiques Cosubstrats extérieurs • Déchets IAA	Effluents d'élevage • Lisier + Fumier (8 500 tMB/an) Cosubstrat d'exploitation • Cultures énergétiques Cosubstrats extérieurs • Déchets IAA
Gestion du digestat	Séparation de phase (vis compacteuse) + épandage	Épandage	Épandage	Séparation de phase (vis compacteuse) + épandage
Valorisation de l'énergie	Cogénération Électricité : vente Chaleur : non valorisée	Cogénération Électricité : vente Chaleur : 78 % du valorisable	Cogénération Électricité : vente Chaleur : 87 % du valorisable	Cogénération Électricité : vente Chaleur : 87% du valorisable

(1) Cas Type 1b Lait spécialisé silo ouvert, potentiel moyen, Pays de la Loire. Inosys-Réseaux d'Élevage

BIBLIO

COMPTE RENDU FINAL DU PROJET.

Levasseur P., 2017. CASDAR Meterri, n°5344, 247 p.

ANALYSE ENVIRONNEMENTALE D'INSTALLATIONS DE MÉTHANISATION AGRICOLE EN ÉLEVAGES BOVINS.

Gac A., Lorinquer E., Wilfart A., Espagnol S. 2018. Article 3R, 4p.

milieux et de l'eutrophisation des eaux, la production d'énergie renouvelable par la méthanisation agricole a un impact beaucoup plus fort comparativement au mix électrique français. L'énergie du mix électrique français provient à plus de 70 % du nucléaire qui n'émet pas de gaz à effet de serre (GES) ni aucun autre type de substance qui pourrait avoir un impact négatif sur l'environnement (ammoniac, nitrates, phosphore). Ces émissions sont intrinsèquement liées à la production et transformation de biomasse ; elles proviennent des animaux, des sols et des effluents d'élevage, qu'ils soient méthanisés ou non.

Si on compare les résultats des différentes unités de méthanisation agricole, on observe que les impacts des unités

Cas Type-S1, Cas Type-S2 et Cas Type-S3 sont plus faibles en comparaison à l'unité Cas Réel. Dans les cas de Cas Type-S2 et Cas Type-S3, il s'agit d'unités de 200 kWé : la production d'une plus grande quantité d'énergie permet de diminuer l'impact de l'installation par kWh. Dans le cas de Cas Type-S1 et contrairement à l'unité Cas Réel, la chaleur est en partie valorisée (à 60 %), ce qui augmente l'énergie totale valorisée par cette unité et diminue son impact par kWh valorisé. L'unité Cas Réel, récemment mise en service, ne valorise pas du tout sa chaleur, bien que cela soit prévu dans un projet de développement des activités de l'exploitation.

Les effets sur les bilans environnementaux des élevages sont moins tranchés

Dans ces simulations, la réduction des

TABLEAU 13 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ÉNERGIE VALORISÉE ISSUE DE 4 UNITÉS DE MÉTHANISATION AGRICOLE COMPARATIVEMENT AU MIX ÉLECTRIQUE FRANÇAIS

	Cas Réel	Cas Type-S1	Cas Type-S2	Cas Type-S3	Mix électrique français
Changement climatique (kg eq CO ₂ /kWh valorisé)	0,78	0,33	0,22	0,42	0,12
Acidification (molc H+ eq/kWh valorisé)	1,99E-02	1,10E-02	1,07E-03	5,48E-03	6,78E-04
Eutrophisation (kg PO ₄ eq/kWh valorisé)	2,31E-03	1,19E-03	4,29E-05	6,64E-04	1,74E-04
Energie non renouvelable (MJ/kWh valorisé)	4,94	1,16	0,77	1,14	13,10

TABLEAU 14 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU LAIT PRODUIT PAR DES EXPLOITATIONS AVEC OU SANS UNITÉ DE MÉTHANISATION AGRICOLE (Cas Type-S1, Cas Type-S2, Cas Type-S3 comparativement à Cas Type - sans méthanisation et Cas Réel comparativement à Cas Réel sans méthanisation)

	Cas Type sans méthanisation	Cas Type-S1	Cas Type-S2	Cas Type-S3	Cas Réel sans métha	Cas Réel
Changement climatique (kg eq CO ₂ /kg lait)	0,84	0,82 -2,8 %	0,87 +3,5 %	0,96 +13,7 %	0,72	0,82 +12,9 %
Acidification (molc H+ eq/kg lait)	0,012	0,011 -11,2 %	0,009 -27,5 %	0,011 -9,1 %	0,012	0,012 +1,3 %
Eutrophisation (kg PO ₄ eq/kg lait)	0,0033	0,0031 -6,2 %	0,0029 -13,9 %	0,0032 -4,5 %	0,0034	0,0024 -30,0 %
Énergie non renouvelable (MJ/kg lait)	2,8933	2,98 +2,9 %	3,33 +15,2 %	3,33 +15,2 %	1,82	2,49 +36,9 %

impacts environnementaux ramenés au lait produit, grâce à la méthanisation dépend des situations (tableau 14).

Logiquement, la consommation d'énergie non renouvelable des exploitations avec une installation de méthanisation est plus importante que celle d'une exploitation sans méthanisation, car le fonctionnement de l'unité implique une consommation électrique supplémentaire. Le bilan est plus favorable si la chaleur produite est réutilisée de manière suffisante (cas de Cas Type-S1 pour l'eau chaude en salle de traite).

Dans les situations étudiées, les exploitations avec méthanisation ont un impact par kg de lait produit moins élevé sur les critères d'acidification et d'eutrophisation (jusqu'à -30 %) comparativement aux mêmes situations sans méthanisation. Ceci est dû à de moindres émissions d'ammoniac comparativement à un stockage classique des effluents. Dans les simulations, les achats d'azote minéral n'ont pas été modifiés : ils peuvent en théorie être diminués grâce à une meilleure disponibilité de l'azote sous forme ammoniacale dans le digestat, mais l'apport d'azote supplémentaire *via* les cosubstrats (sauf dans Cas Type-S1) est également à considérer.

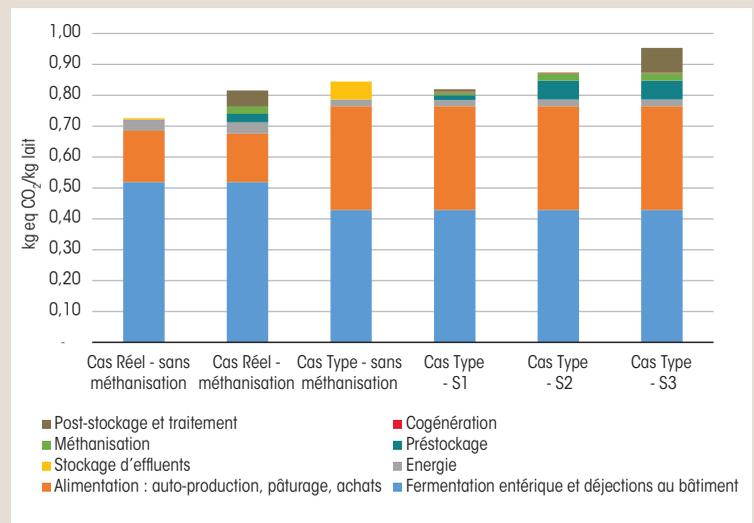
Les effets sur le changement climatique sont variables (de -3 % à +14 %) en fonction des installations (tableau 14). Une réduction des émissions de gaz à effet de serre liées au stockage des effluents par rapport à la situation initiale est bien observée dans le scénario Cas Type-S1. Les émissions sont à la hausse pour les autres cas : ces unités permettent une bonne expression du potentiel méthanogène du mélange et les pertes gazeuses associées au pré-stockage et à la digestion deviennent supérieures à celles d'un stockage simple ; elles ne sont pas compensées par les gains d'émissions permis à l'étape épandage (jusqu'à -11,5 % pour le scénario Cas Réel). De plus, les scénarios Cas Type-S3 et Cas Réel introduisent des étapes supplémentaires dans la gestion des déjections (traitement des digestats).

Il importe alors d'optimiser les temps de stockage et de veiller à couvrir les ouvrages, voire à rallonger le temps de séjour hydraulique afin de maximiser la valorisation du biogaz produit dans le méthaniseur. Cela fait partie des pistes

d'optimisation déjà identifiées pour l'unité Cas Réel pour ses évolutions à venir (figure 14).

La petite méthanisation est un modèle récent qui permet des gains d'émissions de GES prometteurs (près de 3 % de GES dans le cas Cas Type-S1 simulé) au côté des autres leviers dont disposent les éleveurs (de -1 % pour les leviers d'optimisation de la conduite du troupeau à -7 % pour le remplacement du tourteau de soja, issu de zones déforestées, par du tourteau de colza). Ce modèle reste toutefois à optimiser dans certains cas d'élevage. Ainsi après deux années de fonctionnement, l'unité Cas Réel prévoit des évolutions sur différents points : traitement d'une quantité d'intrants plus importante (fumiers des génisses), ajout d'un post-digesteur et d'un nouveau moteur de cogénération pour allonger le temps de séjour des intrants et mieux exprimer leur potentiel méthanogène, valoriser la chaleur dans une installation de transformation à la ferme (actuellement la chaleur est perdue).

FIGURE 14 : DÉTAIL PAR POSTE DE LA CONTRIBUTION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DU LAIT PRODUIT PAR DES EXPLOITATIONS AVEC OU SANS UNITÉ DE MÉTHANISATION AGRICOLE (Cas Type-S1, Cas Type-S2, Cas Type-S3 comparativement à Cas Type sans méthanisation et Cas Réel comparativement à Cas Réel sans méthanisation)



• ZOOM**L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV)**

L'ACV est une méthode d'évaluation environnementale basée sur la compilation des intrants et des extrants d'un système de produits au cours de son cycle de vie, afin d'en calculer les impacts environnementaux potentiels. C'est aujourd'hui l'outil d'aide à la décision le plus abouti en matière d'évaluation globale et multicritère des impacts environnementaux. Il peut être utilisé pour des besoins d'écoconception, d'affichage environnemental ou encore d'orientation des politiques publiques. (Définition ADEME, 2018)



Résultats de l'expertise environnementale du projet Méthalae

Les impacts de la méthanisation au niveau des exploitations agricoles (équipées d'un méthaniseur) et des territoires ont été étudiés dans le cadre du projet Méthalae. Pour cela, 46 fermes, liées à 24 méthaniseurs d'une gamme de puissance allant de 30 kW à 2,1 MW, ont été enquêtées. Parmi elles figurent 19 unités individuelles et 4 unités collectives (carte 5).

L'étude a permis de rassembler des données sur les plans agronomiques, environnementaux, économiques et sociétaux.

Baisse des consommations d'énergie « brute » des fermes liées à un méthaniseur

Sur le plan environnemental, le projet Méthalae a étudié si la méthanisation a un impact sur les consommations énergétiques des fermes, sur leurs émissions de gaz à effet de serre et leur bilan azoté.

Tout élément fertilisant entrant en méthanisation ressort en quantité équivalente dans le digestat, qui se substitue

ainsi à un apport d'engrais chimique. Méthalae a confirmé que l'utilisation du digestat permet de réduire la consommation d'engrais chimiques des exploitations, réduisant de fait la consommation d'énergie nécessaire à leur fabrication (figure 15). En effet, rapportée à la SAU des exploitations, la fertilisation minérale est en moyenne en baisse de 20 % par rapport aux apports de référence.

De même, la consommation d'énergie pour le chauffage des bâtiments agricoles ou pour le séchage de fourrage est souvent réduite quand l'exploitation agricole est liée à une unité de méthanisation en cogénération, nécessitant la valorisation de la chaleur à proximité.

Trente exploitations enquêtées dans le cadre du projet Méthalae ont ainsi vu leur consommation énergétique brute globale baisser de 10 %, baisse directement liée à la baisse d'achat d'engrais minéraux ou d'aliments concentrés. En revanche, les achats de fioul sont assez souvent à la hausse. En cause, l'épandage du digestat et la conduite des cultures intermédiaires à vocation énergétique.

• EN SAVOIR PLUS



méthalae

LE PROJET MÉTHALAE

Le projet Casdar Méthalae, conduit de 2015 à 2018, visait à montrer dans quelles conditions la méthanisation peut être un catalyseur du passage vers l'agroécologie.

Coordonné par Solagro, en partenariat avec Aile, Trame, la Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, le CERFrance et l'EPL du Périgord, le projet Méthalae a permis de montrer que la méthanisation améliore la durabilité des fermes, et l'impact environnemental ressort positif. L'efficacité énergétique des fermes est meilleure et l'impact en gaz à effet de serre moindre. Grâce à une meilleure valorisation des effluents et à un pilotage plus fin de la fertilisation organique, la dépendance aux engrais minéraux est réduite.

+ d'info sur : <https://solagro.org>

CARTE 5 : LOCALISATION DES 46 FERMES ENQUÊTÉES DANS LE CADRE DU PROJET MÉTHALAE (source : CASDAR Méthalae, 2019)

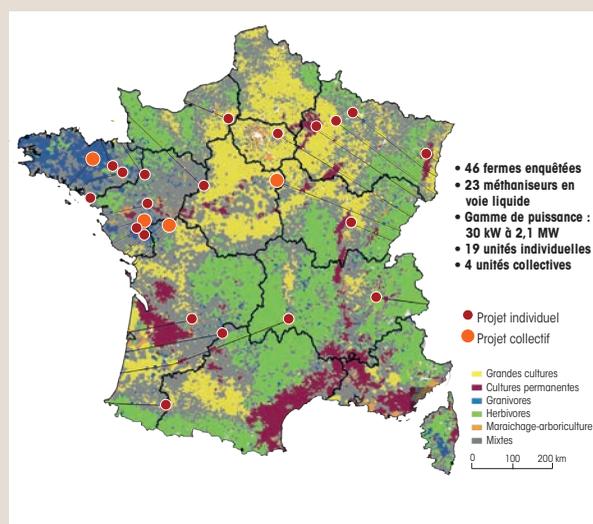
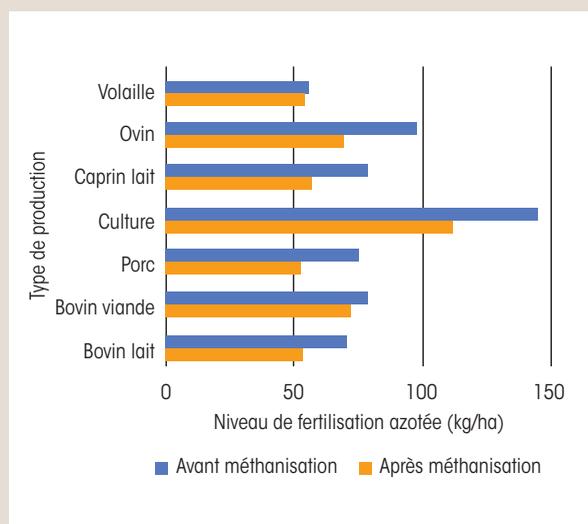


FIGURE 15 : ÉVOLUTION DE LA FERTILISATION AZOTÉE DES 46 FERMES DU PROJET MÉTHALAE EN FONCTION DE LEUR PRODUCTION (source : CASDAR Méthalae, 2019)





20 %

C'est en moyenne la baisse d'apports en fertilisation minérale constatée après la mise en place des méthaniseurs sur les exploitations enquêtées dans le cadre du projet Méthalaë.

Baisse des émissions de gaz à effet de serre

La production de biogaz par méthanisation permet de substituer la consommation d'une énergie fossile par une énergie renouvelable : le bilan net de consommation d'énergie ou d'émission de gaz à effet de serre en ressortent très positifs, que ce soit pour les élevages comme pour les cultures végétales :

- baisse en moyenne de 50 % des consommations d'énergie nette ;
- 6 des 46 exploitations suivies dans le cadre du projet Méthalaë sont devenues des fermes à énergie positive, produisant entre 200 et 2 500 MWh/an de plus que ce qu'elles ne consomment. L'une d'elles stocke même plus de carbone qu'elle n'en émet.

Les enquêtes montrent une baisse de la volatilisation ammoniacale, au stockage et à l'épandage, de 8 kg/ha en moyenne sur les 46 fermes. La baisse est de 10 kg/ha ou plus pour 14 d'entre elles. Pour 30 exploitations, la volatilisation reste stable et pour 2 exploitations, on enregistre une dégradation générée par un changement de conduite du cheptel.

Avant la méthanisation, les pertes ammoniacales avaient lieu pour 2/3 au stockage et 1/3 à l'épandage. La tendance est inversée après la mise en place de la méthanisation. Optimiser le matériel d'épandage est donc un levier intéressant pour limiter l'impact de la méthanisation.

Amélioration du bien-être animal

Sur 39 élevages enquêtés, 12 ont constaté une amélioration de la qualité de la litière des animaux, grâce au curage plus fréquent des fumiers, ainsi qu'une diminution du nombre de mouches (quand le curage intervient tous les 10 jours) et une fréquence moindre d'apparition de maladies (probablement en lien avec l'amélioration de la qualité de l'air dans les bâtiments).

La cogénération du biogaz permettant de produire de la chaleur, certaines exploitations sèchent les fourrages, ce qui leur donne une meilleure qualité ; d'autres chauffent les bâtiments d'élevage ou les eaux de buvée, améliorant ainsi le confort quotidien des animaux.

Certains éleveurs indiquent même une meilleure appétence des prairies fertilisées avec du digestat.

Les énergies renouvelables sont au cœur de la transition énergétique de la France.



Le Label Bas Carbone, nouveau dispositif pour valoriser la réduction des émissions de gaz à effet de serre en exploitation

Depuis 2013, les filières d'élevage de ruminants sont engagées dans la lutte contre le changement climatique avec aujourd'hui près de 13 000 fermes impliquées dans les plans d'action bas carbone, via l'utilisation de l'outil CAP'2ER®. De nombreux leviers techniques pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre (gestion du troupeau et de l'alimentation, optimisation des intrants, gestion des déjections animales,...) et l'augmentation du stockage de carbone (implantation de prairies temporaires et de couverts végétaux, plantation et gestion des haies,...) sont proposés aux éleveurs pour réduire l'empreinte carbone du lait et de la viande.

CARBON AGRI, une méthodologie certifiée par le ministère de la Transition Écologique et Solidaire

Pour certifier les réductions d'émissions et le stockage de carbone additionnel, l'Institut de l'Élevage, les interprofessions lait et viande (CNIEL, INTERBEV) et la Confédération Nationale de l'Élevage ont développé la méthodologie CARBON AGRI en partenariat avec I4CE (Institut de l'économie pour le climat). Le ministère de la Transition Écologique et Solidaire a validé, en septembre 2019, la méthodo-

logie CARBON AGRI qui permet de faire certifier les réductions de gaz à effet de serre obtenues sur les exploitations d'élevage bovins et de grandes cultures. Elle bénéficie ainsi du Label Bas Carbone, ce qui permet une reconnaissance et une possible compensation financière des actions des agriculteurs dans la lutte contre le changement climatique.

Les élevages porteurs de projets vertueux, récompensés

Le Label Bas Carbone est un outil du ministère de la Transition Écologique et Solidaire, développé avec I4CE, pour contribuer à l'atteinte des objectifs climatiques de la France (neutralité carbone en 2050) en récompensant les acteurs de terrain dans la lutte contre le changement climatique. Il concerne les secteurs agricoles et forestiers et s'adresse à des projets vertueux de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'augmentation du stock de carbone, qui vont au-delà des pratiques usuelles.

Les réductions concernées sont quantifiées dans un cadre exigeant et transparent, permettant à des financeurs de s'engager auprès des acteurs pour récompenser financièrement leurs actions. À ce jour, trois méthodologies forestières et une méthodologie agricole, CARBON AGRI, sont approuvées pour certifier des réductions d'émissions. D'autres méthodologies

• ZOOM

CAP'2ER®, POUR ÉVALUER LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX EN ÉLEVAGE DE RUMINANTS

CAP'2ER® (Calcul Automatisé des Performances Environnementales en Elevage de Ruminants) a pour objectif d'évaluer les impacts environnementaux à l'échelle d'une exploitation d'élevage de ruminants et par atelier (bovin lait, bovin viande, ovin viande). Outil d'évaluation et d'appui technique, il a été développé par les filières d'élevage de ruminants afin de préciser les interactions entre un élevage et l'environnement et d'engager des démarches de progrès avec les éleveurs.

+ d'infos : www.cap2er.fr


• ZOOM
FRANCE CARBON AGRI ASSOCIATION


Créée par les représentants des éleveurs (Fédération Nationale des Producteurs Laitiers, Fédération Nationale Bovine, Fédération Nationale Ovine, Fédération Nationale des Éleveurs de Chèvres), France CARBON AGRI facilite la mise en place de projets de réduction des émissions de gaz à effet de serre en France. Désireuse d'impliquer un nombre important d'éleveurs dans les démarches bas carbone, France CARBON AGRI Association opère en étroite collaboration avec ses partenaires des filières que sont l'Institut de l'Élevage, le CNIEL, INTERBEV, les organismes de conseil, les coopératives, les entreprises privées, les organisations de producteurs, les fédérations départementales,...

+ d'infos : <https://france-carbon-agri.fr>

sont en cours d'élaboration pour améliorer la prise en compte de certaines activités et composantes (grandes cultures, méthanisation) ou en réflexion pour intégrer d'autres secteurs agricoles.

La production d'énergie renouvelable est éligible

Pour la mise en œuvre dans le cadre de projets, la méthode CARBON AGRI propose un cadre de suivi basé sur la réalisation d'un diagnostic CAP'2ER® niveau 2 en début et en fin de projet, parallèlement à la réalisation de mesures d'accompagnement des agriculteurs. Les gains carbone qui sont comptabilisés sont les gaz à effet de serre évités suite à l'application d'une ou de plusieurs pratiques d'élevage et culturales. Ce sont donc des pratiques additionnelles, par rapport à la situation initiale de l'exploitation, qui sont visées.

La production d'énergie renouvelable fait partie des leviers qui peuvent être mobilisés en tant que pratique additionnelle permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre d'une exploitation. Cela concerne en particulier la méthanisation en lien avec la gestion des effluents et la production de biomasse chaleur permise par la gestion et la plantation de haies.

Une nouvelle association pour accompagner les porteurs de projet

De nombreux acteurs économiques publics et privés ont témoigné leur volonté de s'impliquer pour l'atteinte de la neutralité carbone et d'accompagner la transition bas carbone. Désireux d'entrer dans le mécanisme de la compensation volontaire, ils souhaitent apporter une contribution financière aux projets agricoles bas carbone nationaux. Le Label Bas Carbone donne pour cela un cadre certifié permettant le développement de projets locaux de compensation volontaire.

Dans ce cadre, et de manière à faciliter la mise en place de projets agricoles en France, les représentants des éleveurs (Fédération Nationale des Producteurs Laitiers, Fédération Nationale Bovine, Fédération Nationale Ovine, Fédération Nationale des Éleveurs de Chèvres) ont créé France CARBON AGRI Association (FCAA). En qualité de porteur de projets ou de mandataire, FCAA fédère des projets locaux ou nationaux, assure l'ingénierie de projet, la gestion administrative et la recherche de financeurs.

Depuis janvier 2020, FCAA et ses partenaires accompagnent plusieurs collectifs d'agriculteurs, pour un total de 391 exploitations, majoritairement d'élevages bovins, qui vont pouvoir faire reconnaître et financer leurs gains carbone.

Ces démarches volontaristes bas carbone doivent ainsi créer un effet d'entraînement mobilisant un ensemble d'acteurs (agriculteurs, territoires, financeurs externes et pourquoi pas société civile) vers l'objectif commun de lutte contre le changement climatique.

LABEL BAS CARBONE DES HAIES : DE NOUVELLES MODALITÉS POUR COMPTER LE CARBONE STOCKÉ PAR LES HAIES EN 2021

Un éleveur souhaitant valoriser la plantation des haies dans le cadre du LABEL Bas Carbone peut le faire aujourd'hui *via* la méthode CARBON AGRI qui comptabilise le carbone stocké dans le sol **de nouvelles haies** implantées dans le projet. Il sera bientôt possible de valoriser également les efforts de maintien des linéaires de haies existants et l'amélioration de leur gestion sur l'exploitation. C'est le travail engagé par la **Chambre régionale d'agriculture des Pays de la Loire** autour du label Bas Carbone haie.

Pour cela, un état initial des haies de l'exploitation sera établi au démarrage du projet. Les caractéristiques des linéaires (âge, type futaie/taillis/mixte...) et de leur état (discontinuité, densité) serviront à établir la référence pour l'exploitation. L'exploitant mettra ensuite en place un plan de gestion durable des haies avec son conseiller sur l'exploitation afin de définir un programme de gestion et d'exploitation de son bocage sur 15 ans.

La mise en place de cette gestion durable permettra ainsi de limiter le recul du linéaire de haies en France. De plus, ce plan de gestion améliore la croissance des arbres qui, par là-même, favorise l'accroissement du carbone stocké dans la biomasse (bois aériens, racines) et dans le sol par rapport à une référence d'évolution du linéaire de haies sans gestion.

Par ailleurs, en cas de déplacement de quelques haies durant le projet, le déstockage engendré (arrachage-replantation) sera déduit. Une fois les gains vérifiés en fin de projet (n+5, renouvelable 2 fois), le crédit carbone associé au stockage additionnel sera versé à l'agriculteur. Les entreprises pourront s'engager à préfinancer des projets dans les premières années sur une partie du carbone stocké potentiel.



Enfin, notons que ces crédits Carbone pourront valoriser en option, en plus du carbone stocké dans la biomasse et dans le sol de l'exploitation durant le projet, le carbone des bois exploités et substitué aux énergies fossiles. Il faudra dans ce cas adhérer au Label Haie. **Sarah COLOMBIE**, pilote de cette méthode haie issue des enseignements du programme **Carbocage espère une labellisation de la démarche par le Ministère avant fin 2020.**





Diagnostic de plusieurs fonctions des haies à l'EPLEFPA de Coutances avec les élèves des filières agricole et aménagement. Outre le rôle patrimonial et paysager, d'ombrage des vaches laitières et d'abris à auxiliaires en production bio que jouent les haies, leur potentiel en biomasse est aussi étudié. L'idée serait de contribuer à approvisionner à terme le réseau de chaleur d'une mairie. Les étudiants ont élaboré un plan de gestion avec l'appui de la Chambre d'agriculture de la Manche.

• L'ESSENTIEL

- Les outils d'aide au choix et à la décision sont un support important pour les éleveurs.
- L'enseignement agricole joue un rôle important dans le transfert de compétences et le développement des énergies renouvelables.
- Les programmes de formations qui intègrent la production d'énergies, déjà multiples et riches, sont à davantage renforcer.

François Gervais (Institut de l'Élevage), Claire Durox (animatrice Réso'them/énergie - climat, MAA/DGER) et Valérie Gane (EPLEFPA Aurillac), Patrick Colin de Verdière (EPLEFPA La Côte Saint-André), Franck Sangouard (EPLEFPA Vosges) et Emmanuelle Zanchi (animatrice Réso'them/élevage, MAA/DGER).

Accompagner le développement de l'énergie renouvelable à la ferme

OUTILS POUR LES ÉLEVEURS, FORMATIONS POUR LES FUTURS ACTEURS ET LES CONSEILLERS, RETOURS D'EXPÉRIENCE DES FERMES D'ÉTABLISSEMENTS OU EXPÉRIMENTALES SONT AUTANT DE CANAUX DE TRANSFERT DE CONNAISSANCES INDISPENSABLES AU DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES EN AGRICULTURE.

• REPÈRES

PROGRAMME EnR2

- Objectif du projet : accompagner les éleveurs de ruminants dans leur réflexion de projet pour la mise en place de systèmes performants pour produire de l'énergie renouvelable.
 - Réalisation : outil web EnR2
 - Piloté par l'Institut de l'Élevage, en partenariat avec plusieurs acteurs aux compétences complémentaires : Chambres d'agriculture (Indre-et-Loire, Auvergne-Rhône-Alpes, Saône-et-Loire, Bretagne), lycées agricoles (Aurillac, La Côte Saint-André), Grignon Energie Positive, AGESEM et l'ADEME.
 - Financé par la CNE et le CNIEL.
- + d'infos : <http://idele.fr/services/outils/enr2.html>

Les outils et références pour développer les projets de production d'énergie renouvelable à la ferme

Dans le cadre du programme EnR2 financé par la CNE et le CNIEL, un outil d'aide à la réflexion a été mis au point pour les agriculteurs souhaitant mettre en place un projet de production d'énergie renouvelable sur leur exploitation.

L'outil EnR2 est dimensionné pour les projets individuels à l'échelle d'une exploitation ayant un atelier bovin, ovin ou caprin. Les filières énergie abordées sont le bois énergie, la méthanisation, le solaire thermique et le solaire photovoltaïque en vente totale ou en autoconsommation avec vente du surplus.

Un diagnostic en 4 étapes

L'outil EnR2 permet de réaliser un diagnostic en 4 étapes à partir des besoins initiaux de l'éleveur et de l'exploitation qui orientera vers la forme d'énergie renouvelable la plus adaptée à la situation (figure 16).

Étape 1 : Déterminer les besoins et les aspirations

Un premier écran permet à l'éleveur de préciser les besoins de son exploitation ou ses aspirations. Trois options lui sont offertes :

- produire de la chaleur (pour chauffage et/ou eau chaude) ;
- produire de l'électricité pour de l'autoconsommation ;
- produire et vendre de l'énergie.

Étape 2 : Découvrir les solutions possibles

En fonction de l'option choisie à l'étape précédente, une liste de solutions techniques appropriées est proposée. Chaque solution est brièvement décrite.

Étape 3 : Identifier les points d'attention et les opportunités

Une série de questions minutieusement choisies permet d'aider l'éleveur à identifier les points d'attention particuliers à avoir et les opportunités de son exploitation à produire de l'énergie, voire les points de blocage et limites éventuelles.

FIGURE 16 : LES 4 ÉTAPES DU DIAGNOSTIC PROPOSÉ PAR L'OUTIL ENR2 –
EXEMPLE D'UN ÉLEVEUR SOUHAITANT PRODUIRE SA PROPRE ÉLECTRICITÉ

1

Quels sont vos besoins et aspirations pour votre exploitation ?



Production d'eau chaude en autoconsommation

Vous souhaitez chauffer un bâtiment (bâtiment d'élevage, maison d'habitation) et/ou produire de l'eau chaude (chauffe-eau)



Production d'électricité en autoconsommation

Vous souhaitez produire votre propre électricité



Production et vente d'énergie

Vous souhaitez produire et vendre de l'énergie

2

Les solutions pour produire sa propre électricité



Production d'électricité en autoconsommation

Photovoltaïque en autoconsommation

(autoconsommation totale ou avec raccordement au réseau pour la vente du surplus*)

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique renouvelable produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux solaires. Ces cellules photovoltaïques convertissent les ondes électromagnétiques (rayonnement) émises par le soleil en électricité consommée sur place. L'installation peut être raccordée au réseau afin de vendre le surplus de production.

** Les deux options sont proches, méritent d'être analysées de près par votre conseiller énergie, au vu des conditions de raccordement de votre exploitation et des évolutions futures de cette installation.*

3

Solution PHOTOVOLTAÏQUE EN AUTOCONSUMMATION, raccordé au réseau et avec vente de surplus

Quel est le profil de votre consommation ?

- Une consommation régulière sur la journée et sur l'année (fromagerie, élevage laitier avec robot de traite, élevage hors sol)
- Une consommation très variable

Quelle est votre consommation électrique annuelle ?

- Supérieure à 30 000 kWh/an
- Inférieure à 30 000 kWh/an

Cette consommation intègre-t-elle du chauffage et de l'eau chaude ?

- Oui
- Non

Pensez également à la chaudière biomasse ou au chauffe-eau solaire.

Quel est votre tarif d'achat de l'électricité ? (tarif Heures Pleines été)

- Supérieur à 12 centimes €/kWh
- Entre 10 et 12 centimes €/kWh
- Inférieure ou égale à 10 centimes €/kWh

4

Cette solution est adaptée à vos besoins

Sur votre exploitation, toutes les conditions semblent favorables pour l'installation de panneaux photovoltaïques pour autoconsommer l'électricité renouvelable produite.

Une installation photovoltaïque en autoconsommation peut se monter est-ouest. Un calcul du coût de production du kWh qui intègre à la fois le productible lié au site et le coût de l'installation est à réaliser sur PVGIS avec un conseiller énergie.

Étape 4 : Déterminer la faisabilité et la pertinence du projet

Basé sur les réponses aux questions et les retours d'expériences d'agriculteurs producteurs d'énergie et des experts de la filière, un premier avis sur la faisabilité et la pertinence, *a priori*, d'un projet de production d'énergie sur l'exploitation est donné, tout comme des ressources récentes et de qualité mises à disposition sur le web pour approfondir le sujet.

Se rapprocher d'un conseiller énergie ou d'entreprise est indispensable pour un accompagnement solide qui conditionnera la réussite du projet. C'est pourquoi l'outil aide également l'éleveur à identifier les personnes et structures ressources pour un conseil adapté et spécialisé.

Les rôles de l'enseignement agricole dans le développement des énergies renouvelables à la ferme

La question des énergies renouvelables dans les élevages de ruminants est travaillée en termes de démonstration d'innovations dans les fermes des établissements de formation qui peuvent en utiliser ou en produire. C'est aussi un sujet de formation puisque les futurs acteurs de l'agriculture doivent acquérir des repères et un regard critique pour mieux développer ce type de projets dans le cadre de la transition agroécologique.

L'exemple de l'EPLFPA de Mirecourt

« À l'établissement de Mirecourt, dans les Vosges, on s'est vraiment posé des questions sur l'énergie à partir des bilans énergétiques dans les années 2000 » explique Franck Sangouard, directeur de la ferme de Braquemont (polyculture élevage laitier, ovin et porcin).

« On était déjà dans des groupes de progrès, à travailler sur l'autonomie du système, la réduction d'intrants, un système plus herbager... Dans un département et dans un lycée forestiers, c'était naturel de travailler sur les haies : on a vendu 500 T de plaquettes bocagères par an de 2010 à 2016. Le marché local est plus compliqué aujourd'hui et on attend d'autres services de nos haies désor-

mais : bien-être, stockage de carbone, biodiversité... Avec la construction d'un nouveau bâtiment d'agroéquipement en 2008, c'était facile de l'orienter plein sud et de mettre les 15° minimum nécessaires de pente. On a cherché à couvrir l'équivalent de notre consommation d'électricité avec 400 m² de panneaux photovoltaïques installés, même si c'est revendu sur le réseau. »

La démarche de cette exploitation de l'enseignement agricole illustre bien les rôles que ces fermes peuvent jouer pour contribuer à innover, à tester différentes voies de transition énergétique, au bénéfice des apprenants et des professionnels du territoire.

La ferme de Mirecourt témoigne aussi de l'intérêt des démarches globales de diagnostic énergie-climat pour prendre conscience des enjeux, des principaux postes de consommation d'énergie et des opportunités, et travailler ainsi dans un souci de sobriété, d'efficacité énergétique et de production d'énergies renouvelables.

L'exploitation de l'établissement des Vosges à Mirecourt s'est dotée de 400 m² de panneaux photovoltaïques en 2008, d'un chauffe-eau solaire et s'est intéressée à la valorisation de plaquettes bocagères.





investissant dans les projets de certaines exploitations pédagogiques (méthaniseur à Clermont-Ferrand - Marmillhat en région Auvergne-Rhône-Alpes, à Pontivy en Bretagne...) ainsi que de l'ADEME.

Certaines fermes sont impliquées dans des projets de méthaniseurs territoriaux avec des agriculteurs (à Vendôme, Laval... avec une unité mutualisée pour un collectif d'exploitations).

On peut citer également des cas d'installations en solaire photovoltaïque apportant un revenu à l'exploitation (Mirecourt : 393 m², Obernai : 615 m², Charolles : 400 m², Quimper Bréhoulou : 230 m²...).

Enfin, une part croissante d'exploitations des établissements s'intéresse à la place des arbres champêtres et des haies dans leur système, pour leurs divers services, avec, pour certains, une valorisation énergétique en cours ou en projet (ex à Bourges, Coutances, Rochefort-Montagne...). D'ailleurs certaines équipes sont motivées par les perspectives du nouveau "Label Haie" de gestion durable du bois bocager : cela pourrait aider à trouver plus facilement des débouchés dans des chaufferies collectives et aider à garder une image positive du bois énergie via l'engagement dans un plan de gestion des haies multifonctionnel attestant de la préservation de la ressource. D'autant plus qu'il y a également la perspective du label bas carbone (marché carbone local volontaire) avec des entreprises souhaitant compenser leurs émissions en soutenant des projets pouvant concerner la plantation et la gestion de haies.

Différentes fermes d'établissements déjà engagées dans des projets d'énergies renouvelables

Plusieurs facteurs ont contribué à l'engagement d'exploitations et d'ateliers de l'enseignement agricole dans des projets d'énergies renouvelables :

- des fermes pilotes en agriculture durable abordaient l'énergie avec l'appui de Solagro pour les diagnostics pendant la période 1999-2006 ;
- une rencontre nationale des exploitations des établissements en 2007 sur la thématique de l'énergie a motivé des pionniers ;
- des circulaires internes à l'enseignement ont visé un projet d'autonomie énergétique par région et la mise en place d'un réseau d'échange depuis 2008.

Ensuite, le plan de performance énergétique du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2009-2013) a apporté des financements par exemple pour de premiers méthaniseurs (Obernai, Vic en Bigorre, Chambéry...) ; le plan Énergie Méthanisation Autonomie Azote (2013-2020), dans le cadre du projet agroécologique pour la France, poursuit l'accompagnement ainsi que les projets « Enseigner à produire autrement » 1 et 2 dans l'enseignement agricole (2014-2018 puis 2019-2022). À noter le rôle important des Conseils Régionaux pouvant avoir des politiques différentes selon les régions et

De plus en plus de formations intègrent la production d'énergies renouvelables à la ferme

De manière générale, la durabilité et l'agroécologie sont de plus en plus présentes au fur et à mesure des rénovations des référentiels. Les enseignants / formateurs ont plusieurs portes d'entrées possibles pour traiter des énergies renouvelables et de la maîtrise de l'énergie à travers des modules généraux et professionnels, parfois en pluridisciplinarité.

• EN SAVOIR PLUS

LE PLAN DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE



LE PLAN ÉNERGIE MÉTHANISATION AUTONOMIE AZOTE



LE PLAN D'ACTION « ENSEIGNER À PRODUIRE AUTREMENT »



Une nouvelle thématique à faire découvrir aux élèves

Certains établissements ont choisi de centrer des modules spécifiques sur cette thématique de l'énergie en agriculture, par exemple avec les modules d'initiative locale (MIL) en BTS, des unités capitalisables d'adaptation régionale à l'emploi (UCARE) en brevet professionnel responsable d'exploitation agricole (BPREA) (souvent une, voire deux semaines sur le sujet).

Patrick Colin de Verdière, formateur au CFPPA de la Côte Saint-André en Isère, explique qu'il y a des idées reçues à travailler avec les stagiaires : « *On constate par exemple des confusions en début de formation entre le solaire thermique et le photovoltaïque* ».

« *Un autre enjeu est de les faire raisonner sur le fait que toute énergie renouvelable n'est pas forcément durable selon la manière dont elle est mise en œuvre, il peut y avoir des conditions à expliciter, il s'agit de prendre en compte aussi les impacts des énergies renouvelables* », ajoute Claire Durox, animatrice de réseau dans l'enseignement agricole. De plus, les enseignants manquent encore de références technico-économiques consolidées sur le sujet. « *En tout cas* », reprend Patrick Colin de Verdière, « *l'intérêt d'initier les jeunes à ces problématiques, c'est qu'on sensibilise en même temps les maîtres de stage* ».

Exemples de portes d'entrée possibles et de sujets supports dans les programmes de formation

Les énergies renouvelables peuvent être abordées en passant par plusieurs portes d'entrées :

- en agroéquipement et physique, par l'étude des bâtiments d'élevage ;
- en agronomie et zootechnie, par l'étude de la gestion des effluents et de l'opportunité de la méthanisation mais aussi par l'analyse d'activités innovantes en agriculture ;
- en aménagement paysager et en géographie, par une réflexion sur les paysages de la transition énergétique, le rôle clé des haies et l'intégration spatiale des installations d'énergie renouvelable ;
- en biologie-écologie, par l'étude de la biodiversité des haies et de leur valorisa-

tion en énergie renouvelable ;

- en économie-gestion, par l'étude de la diversification des revenus, de l'installation en intégrant un volet « énergie renouvelable » et pourquoi pas avec des cofinancements citoyens (pour faire réfléchir à la dimension participative éventuelle, à l'acceptabilité du projet...).

Les activités possibles, en complément des cours en salle, sont variées : interventions d'experts, visites d'exploitations innovantes et analyse de cas concrets, comparaisons, diagnostics, contribution à des enquêtes en lien avec l'animation et le développement du territoire.

Un enjeu pour l'installation

Les jeunes adultes qui s'installent aujourd'hui en agriculture doivent être conscients qu'ils vont faire leur carrière avec une énergie de plus en plus rare et chère. « *Il est essentiel qu'ils puissent apprécier la dépendance énergétique de leur future exploitation, en utilisant des outils de diagnostic qui intègrent la question énergétique. Ils doivent comprendre que l'énergie s'économise d'abord par la cohérence du système de production et notamment par la démarche d'autonomie et d'économie vis-à-vis des intrants énergivores (engrais azoté, aliments industriels...)* » souligne Patrick Colin de Verdière.

Une fois intégrée cette notion de système économe en énergie, les énergies renouvelables peuvent être abordées. « *On*

L'élevage ovin peut être compatible avec l'agrivoltaïsme.





L'établissement d'Obernai, ferme en polyculture élevage diversifiée, avec des bovins viande, partage son expérience en méthanisation avec des professionnels à l'occasion du salon Expo biogaz à Strasbourg, lors d'une visite organisée par le cluster Biogaz Vallée.

s'aperçoit alors souvent que le sujet est encore mal connu, que ce soit sur le plan des techniques ou de l'intérêt de telle ou telle énergie renouvelable pour son exploitation. Les stagiaires se mobilisent a priori davantage d'abord sur d'autres enjeux comme la préservation des sols ou la sortie des pesticides... » constate-t-il.

Un autre frein pour les nouveaux installés à intégrer des énergies renouvelables dans leur projet est la capacité d'investissement. Il y a déjà tellement à dépenser pour acheter les moyens de production de base (bâtiment, matériel, cheptel...) qu'il est difficile d'investir en plus dans des systèmes de production d'énergie renouvelable souvent très coûteux. Mais les énergies vertes peuvent être aujourd'hui une voie de diversification de revenu sécurisant une installation (exemple :

bâtiments à toiture photovoltaïque ou production de biomasse bois pour la consommation locale).

Dans tous les cas, il est certain que la réflexion sur la production d'énergie renouvelable à la ferme ne peut pas être ignorée par les porteurs de projet d'installation en agriculture. Et même si de nombreuses actions de démonstration et de formation sont déjà menées, dans le cadre de l'urgence climatique et des transitions, l'enseignement pluridisciplinaire de la transition énergétique et des énergies renouvelables en agriculture mérite d'être renforcé.

« Il est primordial d'aborder les énergies renouvelables en formation. Si tu es motivé, tu finis par trouver celle qui correspond à ton exploitation. Pour moi, le photovoltaïque est la solution la plus simple et la moins gourmande en travail ».

Maxime, stagiaire BPREA à Aurillac en 2019-2020

• EN SAVOIR PLUS



RESO'THEM
Un collectif pour accompagner
la transition agroécologique

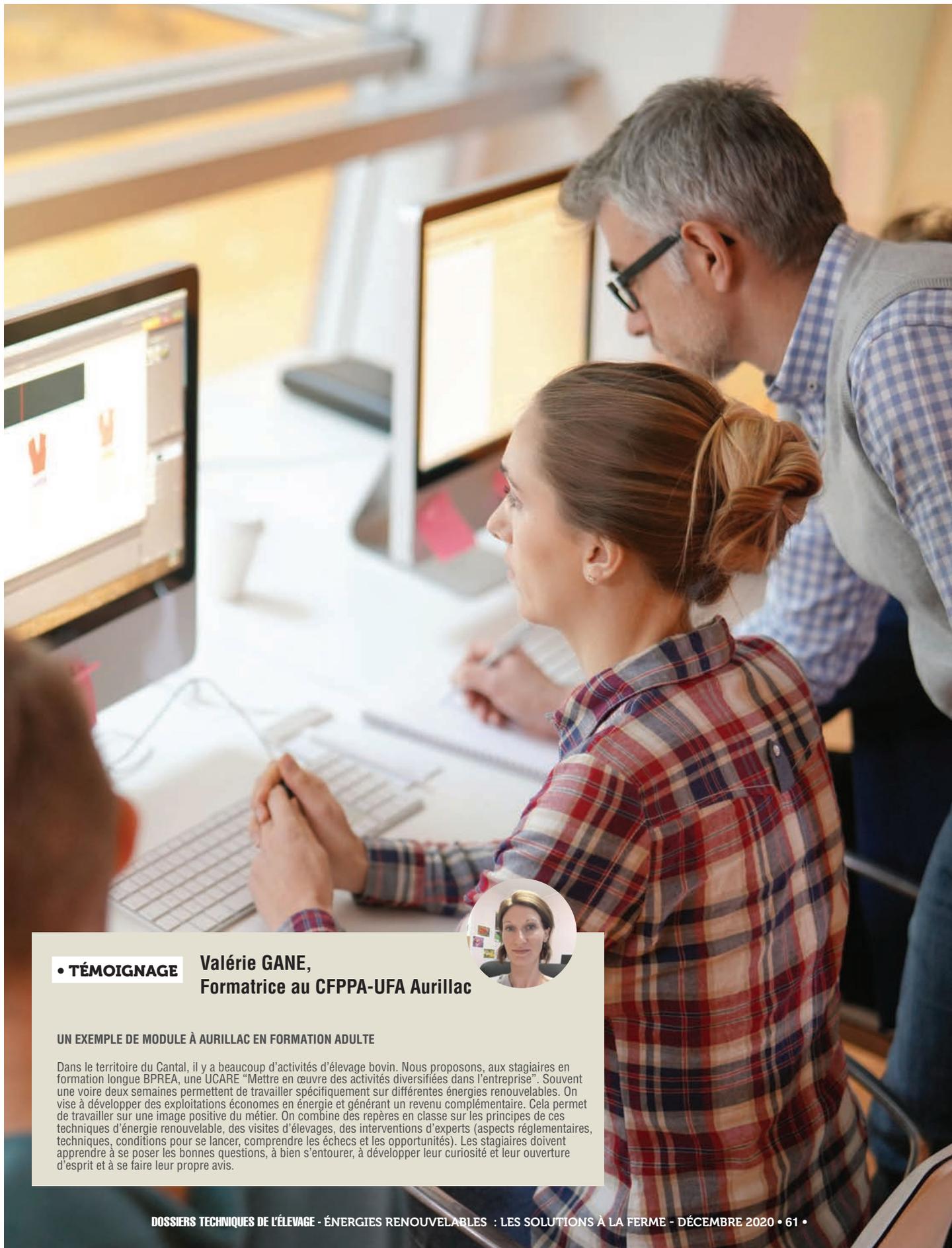
THÉMATIQUE ÉNERGIE – CLIMAT : répondre ensemble au défi énergétique : explorer des voies de transition, innover, échanger et mutualiser pour former

CONTACT : Claire Durox
claire.durox@educagri.fr
Animatrice de réseau sur la thématique énergie climat dans l'enseignement agricole

• ZOOM

LES PARTENARIATS POSSIBLES

Acteurs des collectivités, conseillers, pensez à mobiliser des établissements dans vos démarches de plans climat ou de territoire à énergie positive ! Des classes peuvent contribuer à des enquêtes auprès d'agriculteurs... Les fermes des établissements peuvent contribuer à des animations, à des journées techniques, à des réflexions prospectives, à des démonstrations...



• **TÉMOIGNAGE**

Valérie GANE,
Formatrice au CFPPA-UFA Aurillac



UN EXEMPLE DE MODULE À AURILLAC EN FORMATION ADULTE

Dans le territoire du Cantal, il y a beaucoup d'activités d'élevage bovin. Nous proposons, aux stagiaires en formation longue BPREA, une UCARE "Mettre en œuvre des activités diversifiées dans l'entreprise". Souvent une voire deux semaines permettent de travailler spécifiquement sur différentes énergies renouvelables. On vise à développer des exploitations économes en énergie et générant un revenu complémentaire. Cela permet de travailler sur une image positive du métier. On combine des repères en classe sur les principes de ces techniques d'énergie renouvelable, des visites d'élevages, des interventions d'experts (aspects réglementaires, techniques, conditions pour se lancer, comprendre les échecs et les opportunités). Les stagiaires doivent apprendre à se poser les bonnes questions, à bien s'entourer, à développer leur curiosité et leur ouverture d'esprit et à se faire leur propre avis.



CONCLUSION

François GERVAIS,

Chargé d'études "Bâtiment & Énergie" - Institut de l'Élevage - Service "Capteurs, équipements et bâtiments"

L'élevage de ruminants, un acteur majeur pour le développement des énergies renouvelables



La transition énergétique et environnementale de la France est en cours, avec des objectifs ambitieux à horizon 2030 : porter à 32 % la part des énergies renouvelables de la consommation finale et réduire de 40 % les gaz à effet de serre. Les élevages de ruminants peuvent jouer un rôle important dans cette transition puisqu'ils ont à disposition les surfaces et ressources nécessaires au développement des énergies renouvelables.

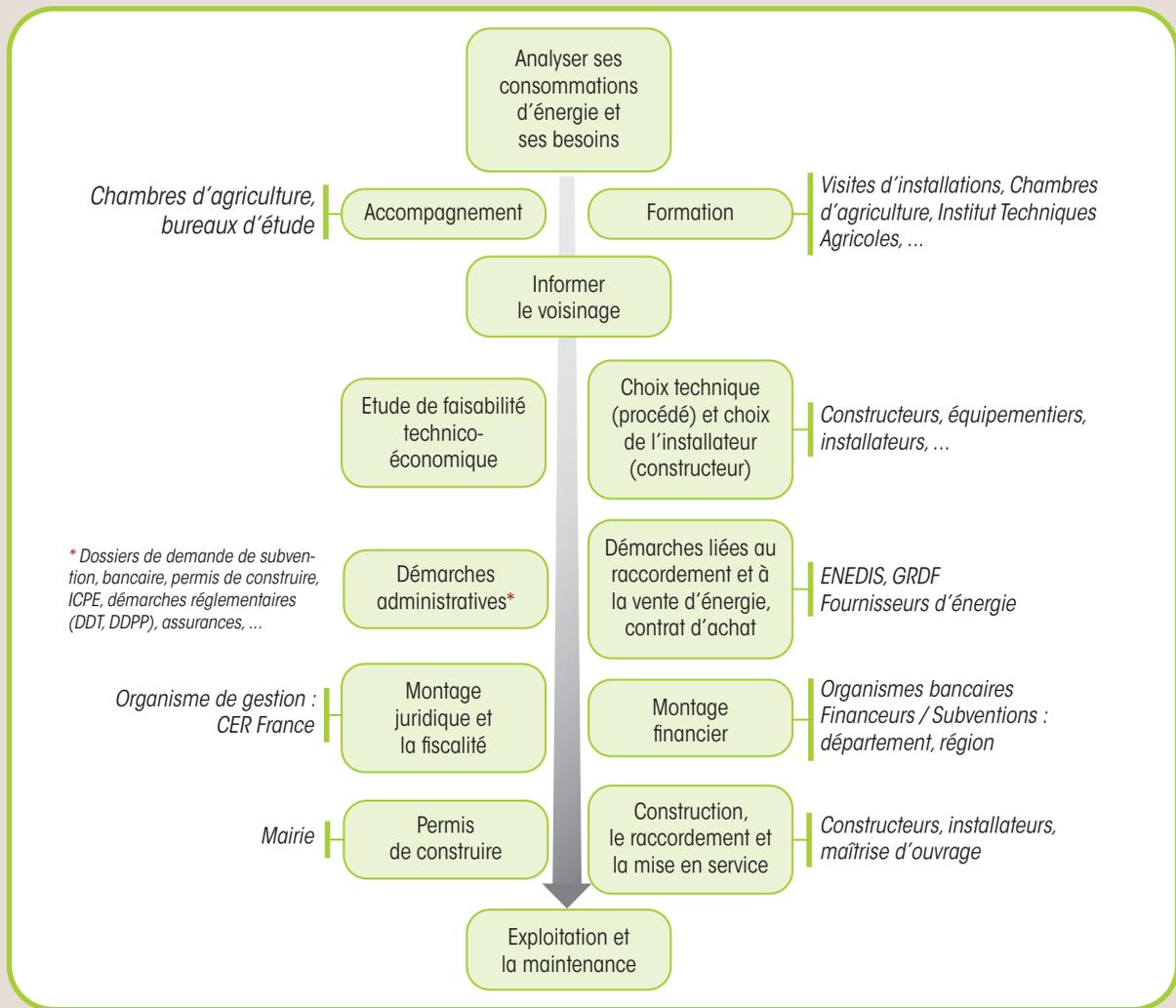
Les possibilités pour produire de l'énergie renouvelable sur une exploitation sont nombreuses : photovoltaïque, solaire thermique, méthanisation, bois énergie, éolien, etc. Les motivations des éleveurs à produire de l'énergie renouvelable peuvent être très différentes : produire pour autoconsommer et tendre vers l'autonomie énergétique, produire pour revendre et dégager un revenu complémentaire ou encore produire pour valoriser des surfaces agricoles, des bâtiments, des effluents.

Les bienfaits des énergies renouvelables pour l'environnement sont aujourd'hui mis en avant par la création de labels. Toutefois, même si les énergies sont produites sur l'exploitation, l'impact environnemental des énergies renouvelables n'est pas automatiquement à attribuer à l'atelier d'élevage, même si celui-ci est dominant. Ainsi, selon les situations, le bilan environnemental portera sur des échelles différentes : produit, atelier, exploitation. Ces différentes façons de prise en compte de la production d'énergies renouvelables dans les bilans environnementaux sont présentées dans ce dossier.

Produire de l'énergie doit être un choix réfléchi et à raisonner en complémentarité avec l'activité d'élevage. L'accompagnement des éleveurs par le conseil et la formation est indispensable, tout comme le dialogue avec les riverains dès la phase de réflexion d'un projet de production d'énergie renouvelable. Bien appréhender les différentes étapes clés de construction du projet permettra au(x) porteur(s) d'avancer sereinement et de s'entourer des bons partenaires et interlocuteurs pour assurer sa réussite.

ÉNERGIE RENOUVELABLE À LA FERME

Les étapes de construction d'un projet et contacts clés



Ce numéro des « DOSSIERS TECHNIQUES DE L'ÉLEVAGE » a été construit à partir des résultats de plusieurs projets nationaux récents : EnR2 piloté par l'institut de l'Élevage et financé par la CNE et le CNIEL ; Prodige piloté par l'APCA et Méthan'H3 piloté par la Chambre d'agriculture de Bretagne, financés par l'Ademe ; Méthalaé piloté par la Chambre d'agriculture des Pays de la Loire et Meterril piloté par IFIP Institut du Porc, financés par le CasDar (Compte d'Affectation Spécial pour le Développement).



Crédits photos : F. Sangouard/Mirecourt - Jérôme Mousset/Ademe - Production Perig/AdobeStock - Marie Leclerc/Institut de l'Élevage - Tiero/AdobeStock - EPLEFPA Coutances - François Gervais/Institut de l'Élevage - Jean-Yves Blanchin/Institut de l'Élevage - Halifax/AdobeStock - Institut de l'Élevage - CRAPDL/IDELE - Denis Gautier/ Institut de l'Élevage - Thomas Gautier/CA 71 - Fotografiacor/AdobeStock - Gilles Paire/StockAdobe - Florent/AdobeStock - CNIEL - JYF/AdobeStock - Lotharingia/AdobeStock - Marianna Kara/ dobeStock - plmprod/AdobeStock - Countrypixel/AdobeStock - Manfredxy/AdobeStock - Corinne Maigret/Institut de l'Élevage - Wolfgang Jargstorff/AdobeStock - Silvano Rebai/AdobeStock - Sarah Colombie/CRA PdL - Claire Durox - Gerisch/AdobeStock - BiogazVallee - Goodluz/AdobeStock - Valérie Gane/CFPPA-UFA - monz/AdobeStock - ShDrohnenFly/AdobeStock • Institut de l'Élevage • Réalisation : Beta Pictoris • Mise en page : Corinne Maigret (Institut de l'Élevage) • N° réf. Idele : 0020 704 010 - N° ISBN : 978-2-7148-0135-7



Ce dossier technique est consacré à la production d'énergies renouvelables à la ferme. Il brosse un panorama de la situation dans les élevages de ruminants en France, décrypte les différentes solutions disponibles aujourd'hui et précise le lien entre énergie renouvelable et environnement.

La loi de transition énergétique du 17 août 2015 a fixé des objectifs ambitieux de productions d'électricité et de consommation de gaz d'origine renouvelable à l'horizon 2030. Dans ce contexte et avec plus de 50 % des surfaces en France composées de surfaces agricoles, les exploitations agricoles sont de plus en plus convoitées par les acteurs des énergies renouvelables. Mais quelles sont les différentes possibilités de productions d'énergie renouvelable à la ferme ? Est-ce économiquement intéressant ? Quel est le bilan environnemental de la production d'énergie à la ferme ? Autant de questions traitées dans ce dossier technique. Le choix de solutions de production d'énergie renouvelable à la ferme

est complexe et s'inscrit dans une stratégie territoriale. Ainsi, l'accompagnement

des éleveurs pour faire les bons choix est crucial. Cela passe notamment par la production de références et la mise à disposition d'outils et de méthodes, ainsi que par la prise en compte de ces éléments dans la formation initiale et continue des conseillers.

Ces différents points sont abordés dans ce dossier technique sur les « Énergies renouvelables : les solutions à la ferme ».

LES DOSSIERS TECHNIQUES DE L'ÉLEVAGE : UN REGARD ÉCLAIRANT SUR DES SUJETS PHARES

L'Institut de l'Élevage propose une nouvelle publication : LES DOSSIERS TECHNIQUES DE L'ÉLEVAGE, dont voici le 3^{ème} numéro.

Cette collection a pour ambition d'apporter, à chacune de ses parutions, un regard nouveau et perspicace sur un sujet technique d'actualité ou clé pour les éleveurs et leurs filières. Y seront présentés les derniers résultats des études conduites par l'Institut de l'Élevage et ses partenaires, sur des sujets portant sur les techniques d'élevage, les structures des exploitations, les bâtiments et équipements d'élevage, les enjeux sociétaux (environnement, bien-être animal), la qualité des produits, le travail en élevage, les transformations des métiers de l'agriculture ou les relations entre acteurs des filières et des territoires... Ces dossiers mettront tout particulièrement l'accent sur les analyses critiques, les avis d'experts et les approches prospectives.

L'objectif est de nourrir la réflexion stratégique des acteurs des filières herbivores.

Ce numéro 3 des « DOSSIERS TECHNIQUES DE L'ÉLEVAGE » porte sur la production d'énergies renouvelables en ferme d'élevage, enjeu fort de la transition énergétique de la France, et décrypte les nombreuses solutions existantes et d'avenir pour les éleveurs.

LES DOSSIERS TECHNIQUES DE L'ÉLEVAGE sont disponibles en téléchargement sur notre site idele.fr

