



## Synthèse bibliographique :

# Quelles substitutions au fioul sur les exploitations agricoles ?

---

ADAGE (Agriculture Durable par l'Autonomie, la Gestion et l'Environnement)

17 rue du Bas Village CS 37725

35577 Cesson Sévigné Cedex

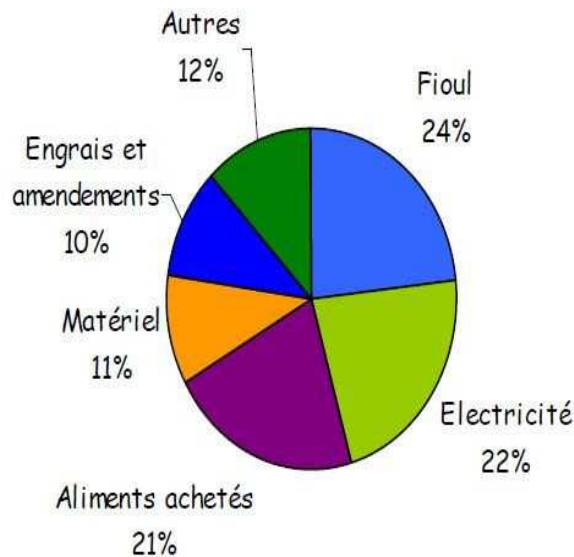
[www.adage35.org](http://www.adage35.org)

Février 2012



## Introduction

---



*Illustration 1: Répartition des consommations d'énergie de fermes de l'Adage - D'après étude PRAIRIE 2009 (26 fermes Adage enquêtées).*

Etudiant en BTS ACSE, j'ai réalisé mon stage en organisme para-agricole au sein de l'ADAGE. En plus de l'objectif « découverte d'un organisme », j'ai eu pour mission de réaliser une synthèse bibliographique dans le cadre du projet énergie de ce Civam. L'Adage est une association d'éleveurs laitiers en Ille-et-Vilaine qui travaille depuis une quinzaine d'années sur la mise en place de systèmes à base d'herbe pâturée et économes en intrants.

Les adhérents de l'adage, avec le pâturage, ont très fortement réduit les consommations d'aliments, fioul et engrais, qui, comme l'illustre le camembert ci-dessus (et comme l'indique également l'étude Planète 2006), sont 3 des 4 principaux postes de consommation d'énergie d'une ferme laitière. Un levier complémentaire aujourd'hui est donc la substitution du fioul et de l'électricité par des énergies renouvelables. Je me suis intéressé à la thématique du fioul. L'idée est de répondre à la question suivante : **peut-on produire de l'énergie en optimisant les ressources disponibles sur les exploitations agricoles ?** Et par la suite, pour les processus de production d'énergie retenus, sont-ils intéressants selon les critères des adhérents de l'Adage : économiquement ? environnementalement ? socialement ? ; faut-il développer ces projets sur les exploitations ?

Suite à un entretien avec Mr Jacquél, éleveur, membre du Comité de Pilotage Energie de l'Adage, les objectifs de mon étude se sont précisés. Nous cherchons à identifier des processus de production d'énergie qui répondent aux exigences suivantes :

- Valoriser les ressources disponibles sur l'exploitation, notamment le bois, afin de devenir le plus **autonome** possible d'un point de vue énergétique.
- Avoir des **rendements** énergétiques satisfaisants, grâce aux technologies, pour que les procédés mis en place soit viables à terme.

- Le procédé doit permettre une efficacité **économique** équivalente voir supérieure à l'utilisation des combustibles fossiles ou à l'électricité.

Dans cette synthèse bibliographique, je vais développer dans un premier temps la question des moteurs à gaz pauvres. Par la suite, montrer les autres possibilités envisageables pour remplacer le fioul.

## Le moteur à gaz pauvres ou "Gazogène"

Pourrait-ce être une solution complémentaire à la réduction des consommations de carburant sur les fermes ?

Leur faible développement s'explique-t-il par leur inadéquation avec la mécanique actuelle ? Quelle perspective pour ces technologies ?

### Principe

Les moteurs à gaz pauvres fonctionnent à partir d'un gaz combustible issu d'une précombustion du bois (ou autre matière solide combustible). Ils ont connu leur heure de gloire à des périodes de pénurie en hydrocarbures liquides (des années 20 à la fin de la seconde guerre mondiale). Ils présentent l'avantage d'avoir recours à une ressource locale et renouvelable, le bois. Le gaz a un pouvoir calorifique suffisant pour faire fonctionner les moteurs à explosion. Il faudrait 1 kg de bois pour produire 1 kWh [Wikipédia].

La gazéification de la biomasse ligno-cellulosique (bois) se déroule en trois phases :

Pyrolyse                      Oxydation                      Réduction

Ces réactions conduisent à la formation d'un gaz dont les caractéristiques principales sont : 47% N<sub>2</sub> / 23% CO / 18% H<sub>2</sub> / 10% CO<sub>2</sub> / 2% CH<sub>4</sub> [Xylo watt].

### Gazogènes embarqués : non pertinents

Au début, l'idée était de monter sur les engins (tracteurs) le système appelé gazogène. Il produirait du gaz afin d'alimenter le moteur à explosion présent. Mais très vite, plusieurs limites apparaissent :

- l'encombrement du dispositif, car le gaz issu de gazéification est très chargé en azote (47%) ;
- l'autonomie demande un volume de bois embarqué important ;
- un diesel demande du fioul pour le démarrage ;
- la chaleur n'est pas valorisée, alors qu'une exploitation peut en avoir besoin.

C'est pour ces raisons que je me suis rapidement orienté vers le système fixe.

### Gazogène à poste fixe

La valorisation directe sans stockage est privilégiée : les gaz entraînent un moteur à la sortie du gazogène, qui lui entraîne une génératrice.

Ce système permettrait une utilisation du type co-génération, c'est-à-dire que l'on produit l'électricité et on valorise la chaleur pour divers besoins.

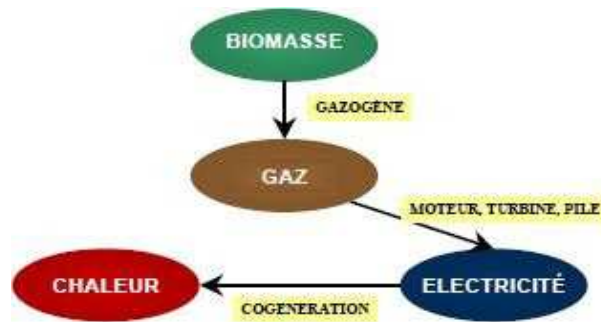


Illustration 2: Schéma de principe du gazogène à poste fixe avec production d'électricité et chaleur.

Des entreprises telles que Xylowatt (Belgique) proposent des centrales de cogénération mais celles mises sur le marché aujourd'hui sont beaucoup trop puissantes par rapport aux besoins d'une exploitation. D'ici 2014 il se peut qu'ils commercialisent des unités plus petites mais toujours trop importantes (nécessitera les ressources en bois d'une vingtaine d'exploitations, donc l'énergie produite ne serait pas autoconsommée!). Cependant je garde leurs informations afin de réaliser par la suite un calcul concret, car leur système peut tourner à bas régime et donc les besoins en bois sont convenables (mais non rentables).

Des installations artisanales sont réalisables sachant qu'une installation de gazogène doit comporter (voir ci-dessous) un générateur de gaz, un refroidisseur, un épurateur et un mélangeur ; ce dernier est parfois complété par un ventilateur d'allumage, un carburateur à essence, et un compresseur. A cela s'ajoute dans notre cas le moteur, qui lui peut être récupéré d'une machine quelconque, ou neuf ; puis une génératrice qui est pour certains déjà présente dans les fermes.

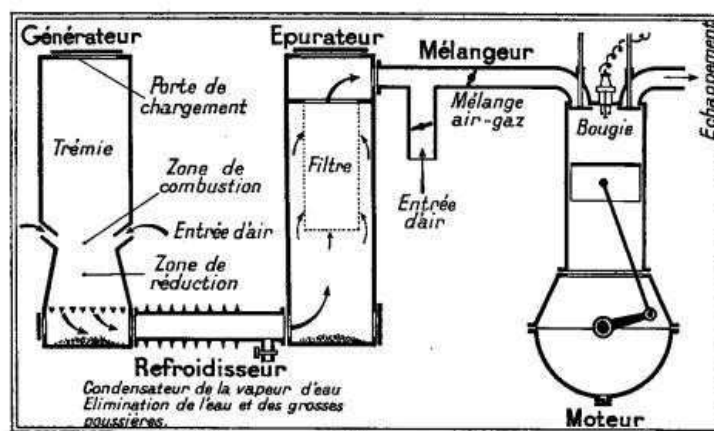


Illustration 3: Schéma d'une installation de force motrice à gazogène.

Il faut savoir que le bois émet des vapeurs chargées d'acide et de goudron. Si ces vapeurs ne sont pas détruites dans le foyer, les épurateurs doivent empêcher leur accès au moteur, sinon celui-ci est vite mis hors d'usage (1500h si les gaz sont chargés en particules [Xylowatt]).

Aussi le moteur à huile lourde dit Diesel est plus facile à adapter que le moteur à explosion mais il demande une petite quantité de fioul au démarrage.

## Autres pistes

Les chercheurs ont mis au point un réacteur permettant de produire du "biocombustible" à partir de ressources renouvelables très répandues, telles que le bois et les céréales. Ce combustible peut être brûlé pour faire tourner des turbines à gaz, des moteurs diesel, des moteurs Stirling ainsi que des chaudières classiques au fuel.

Pasquali Macchine Agricola, constructeur italien, mène actuellement un projet JOULE visant à mettre au point une petite génératrice électrique fonctionnant avec un combustible obtenu à partir de divers végétaux cultivés, bois et miscanthus. "Le projet bénéficie du soutien de l'Etat italien au titre de la promotion de la production d'électricité à partir des énergies renouvelables", explique Henk de Lange, coordinateur technique du projet. Le procédé retenu est appelé pyrolyse et consiste à chauffer la biomasse à environ 500°C. Un volume limité d'oxygène est introduit dans le réacteur afin d'obtenir la température nécessaire au maintien de la pyrolyse. La biomasse ne brûle pas ; elle émet des vapeurs qui se condensent en un liquide brun sombre qui peut remplacer le fuel. Le processus de gazéification s'effectue à une température plus élevée et avec des temps de séjour plus longs dans le réacteur; il comporte une combustion partielle afin d'obtenir un gaz dont les composants combustibles sont le monoxyde de carbone, l'hydrogène et une petite fraction d'hydrocarbures ultralégers. Par rapport à la gazéification, la pyrolyse présente l'avantage que le biocombustible obtenu a une densité énergétique bien supérieure. En outre, ce combustible peut être stocké pendant de longues périodes et facilement pompé et transporté. "Il s'agit d'une des premières tentatives de production d'électricité à partir de la biomasse selon cette méthode", explique M. de Lange. "Il n'existe aucun autre système largement répandu sur le marché." [http://ec.europa.eu/research/success/fr/ene/0264f.html]

Il y a donc de l'avenir, mais le problème est le manque de moyens, donc les autorités aident certains projets, mais c'est long et parfois la taille des projets est démesurée pour une exploitation.

## Chiffrage

Pour la suite, prenons un coût de 40 à 80 €/tonnes de plaquette (broyage et transport) [sources : FD CUMA35]. Voici deux cas concrets :

- Une vieille voiture équipée gazogène consommait 20kg de bois/100 km : 1.2€/100km.
- le système de Xylowatt, avec la consommation minimum de 34 tonnes bois/an (l'outil n'est pas optimisé) ; la production serait comprise entre 40 et 45 000 kWh (besoins moyens d'une ferme de l'Adage : 24 000 kWh [Etude PRAIRIE 2009]).

Si le prix de vente de l'électricité est au prix du marché (11 ct€), on obtient une production d'électricité d'une valeur de plus de 4500€. Elle s'accompagne d'une production de chaleur de 70 000 kWh (chauffage de 4 maisons de 200m<sup>2</sup>), reste donc à trouver des moyens de valoriser la chaleur.

En parallèle les 34t bois coûtent en moyenne 1400 à 2700€ à produire. Mais il faut tenir compte de distances d'approvisionnement plus élevées, du fait des volumes conséquents demandés : on compte une surface de 100 à 200 ha pour avoir des haies permettant de produire la demande (entretien tous les 10-15 ans). Une option pour nécessiter une surface moins importante est l'implantation de TCCR (Taillis à Très Courte Rotation, à base de saule), dont la production est de 10 à 15 tonnes de moyenne/ha/an mais pour un coût total pouvant aller jusqu'à 110€/tonnes [ValBiom].

## Utilisation de la chaleur

L'utilisation de la chaleur dépend des productions et des volumes produits, voici une liste de besoins potentiels :

-maison(s) d'habitation	-stations de compostage en silos
-circuits d'eau	-séchage plaquettes de bois
-bâtiments hors-sol (poulaillers, serres...)	-industries très proche
-séchage de foin et céréales	-collectivité

## Synthèse sur le procédé « Gazogène »

	Avantages	Inconvénients
Embarqué	Substitution du fioul	Perte d'énergie thermique donc rendements moins performants
	Technique connue	Encombrement, autonomie
Fixe	Substitution d'électricité ou de gaz	Un co-générateur n'est sûrement pas auto constructible
	Rendements optimisés	Nécessité de valoriser la chaleur
	Avenir certain avec l'augmentation des coûts de l'énergie	Ne répond pas aux objectif initiaux : substituer le fioul (sauf pour le chauffage si chaudière fioul)
	Production de chaleur	Gaz peu compressible Peu d'expérience

## Autres énergies sur les exploitations

Il existe d'autres types de ressources sous-valorisées sur les exploitations, qui pourraient elles aussi être développées.

### Huile

Issus de l'extraction des graines d'oléo protéagineux, cette technique s'est souvent développée à la ferme mais n'a pas souvent été suivie pour des raisons économiques.

### Eau

D'après une conversation avec Mr Jacques Pochon, la substitution de carburant jusqu'à 30% peut-être permise par une quantité infime d'eau (1g/h pour un tracteur). Cela est permis grâce au phénomène de l'énergie du vide ou énergie libre ou fusion froide de l'eau. Ce système, appelé Pantone, marche sur des moteurs diesel comme essence, celui d'une tondeuse comme d'un tracteur agricole, mais avec des modèles antérieurs à 1997, pour une question de technologie qui n'est plus adaptée aux engins complexes d'aujourd'hui. L'efficacité varie en fonction des propriétés de l'eau, par exemple il y a des agriculteurs pour qui l'efficacité n'est réelle que lorsque le régime moteur est stabilisé, et même certains pour lesquels le système n'a prouvé aucune efficacité [CUMA des Cormiers, comm.pers].

Une autre technique permet de faire des économies en électricité ou en fioul au niveau des bâtiments d'élevage : l'hydro-curage évite le raclage par tracteur ou automatisme mais nécessite une conception du bâtiment particulière et des charges de structures plus conséquentes (fosse de stockage, notamment), par contre l'eau est en cycle et est d'origine pluviale.

### Chaleur

Les pré-refroidisseurs, échangeurs et chauffe-eaux solaires permettent une baisse des consommations électriques.

### Fourrage/céréales/fumier

A travers la méthanisation, on peut valoriser certaines ressources mais attention à ne pas utiliser des ressources déjà utilisées (maïs). Très peu nombreuses, des unités par voie sèche seraient adaptables à des exploitations type Adage, mais en regroupant les ressources de 2 à 5 exploitations pour des raisons

économiques. Cela aboutirait à des gaz, qui grâce à la cogénération, deviennent de l'électricité et de la chaleur.

## Soleil/vent

De nombreuses exploitations montent des projets, plus souvent en solaire car plus rentable que l'éolien, avec les tarifs de rachat actuels.

## Le dihydrogène

Ce n'est pas une énergie primaire : il n'est pas disponible sous forme brute dans la nature mais a besoin d'être synthétisé. L'hydrolyse permet à partir d'électricité de produire du dihydrogène qui pourrait être utilisé dans les tracteurs (comme un projet en développement sur cette thématique chez New Holland). Le moteur à hydrogène permet de générer une puissance mécanique en fonctionnant comme un moteur électrique branché sur une pile à combustible. Un agriculteur du 44 est très impliqué dans cette voie (Jean-Paul Juin).

## Conclusion

---

Au cours de mes deux semaines de stage, j'ai consacré du temps à la recherche d'informations et à la rédaction de cette synthèse bibliographique. Le but principal étant de répondre à la question : « Peut-on produire de l'énergie en optimisant les ressources disponibles sur les exploitations agricoles ? ». C'est possible, des solutions sont même déjà en place avec par exemple les chaudières à bois. Mais le problème du développement d'autres solutions est l'expérimentation nécessitant des moyens humains et financiers.

Pour les moteurs à gaz pauvres, des techniques sont disponibles mais trop puissantes pour nos ressources et besoins, donc pas forcément intéressantes pour les adhérents de l'Adage. Faut-il développer ces projets sur les exploitations? Des systèmes artisanaux sont réalisables, mais ils nécessitent des compétences techniques en mécanique, du temps afin de concevoir et réaliser l'assemblage d'un gazogène, d'un moteur et d'une génératrice. Il y aura sûrement des difficultés rencontrées en chemin, et tout cela nécessitera des moyens financiers qui peuvent être non valorisés si le système n'est pas économe. Mais il faudra aussi penser à associer des compétences, je pense notamment au système Pantone dans lequel Jacques Pochon est très impliqué.

Le problème aura aussi des solutions en associant des techniques ; je pense par exemple au fait d'alimenter un cogénérateur avec du gaz issu de méthanisation (continue ou discontinue) et du gaz de gazogène issu de la combustion du bois de l'exploitation. Les ressources pourraient alors être issues d'une seule exploitation. La chaleur pourrait être valorisée par le chauffage du fumier pour sa fermentation.