



## Méthanisation en Bourgogne

# Le séchage de produits végétaux pour valoriser la chaleur d'une installation de méthanisation



Mars 2015



# **Le séchage de produits végétaux pour valoriser la chaleur d'une installation de méthanisation**

## **Rapport final**

Mars 2015

Etude réalisée pour le compte de l'ADEME Bourgogne  
et la chambre d'agriculture de Côte d'Or  
par Nathalie VIARD

## SOMMAIRE

1.	Synthèse .....	5
2.	Notions de base sur le séchage .....	7
2.1.	Principe du séchage .....	7
a)	L'eau dans la matière végétale et les étapes du séchage .....	7
b)	Ordre de grandeur des objectifs de taux d'humidité et des températures limites de séchage .....	7
c)	Facteurs contrôlant le séchage .....	8
2.2.	Bases de calcul sur le séchage .....	9
a)	Calcul de la quantité d'eau à évaporer .....	9
b)	Références sur les performances des séchoirs.....	10
c)	Chaleur effectivement disponible sur une unité de méthanisation.....	11
d)	Ordre de grandeur des tonnages qu'une installation peut sécher.....	12
2.3.	Les séchoirs.....	12
a)	Les spécificités de la méthanisation.....	12
b)	Le process.....	13
c)	Les séchoirs à bande – séchage continu .....	15
d)	Les séchoirs bennes.....	16
e)	Les cellules de séchage.....	17
f)	Les séchoirs spécifiques .....	18
g)	Quel séchoir pour quelle matière ?.....	19
h)	Gamme de prix et de puissance .....	19
2.4.	Grille d'analyse économique .....	20
a)	Le coût de revient.....	20
b)	Proposition de grille pour l'analyse économique d'un projet de séchage...	21
3.	Séchage de bois énergie.....	22
3.1.	Opportunité pour le séchage de bois en Bourgogne.....	22
a)	Intérêt du séchage artificiel pour le bois énergie .....	22
b)	Etat du marché du bois énergie en Bourgogne et prévisions de développement.....	24
3.2.	Faisabilité technique .....	26
a)	Quel type de bois ?.....	26
b)	Qualité du séchage .....	26
c)	De quel volume parle-t-on ? .....	27
d)	Estimation des besoins en volume au sein de la filière .....	28
3.3.	Faisabilité économique .....	28
a)	Quel tarif de prestation acceptable ?.....	28
b)	Exemple de coûts issus de séchoir de bois en fonctionnement .....	29
c)	Répercussion du prix de la prestation de séchage .....	29
d)	Exemple de calcul du coût de revient du séchage pour une installation biogaz.....	30
3.4.	Un exemple de séchage de plaquette de bois par une unité de méthanisation	33
4.	Séchage de maïs grain .....	34
4.1.	Quelle opportunité pour le séchage de maïs en Bourgogne ? .....	34
a)	La production de maïs grain en Bourgogne .....	34
b)	Avantages et inconvénients du séchage de maïs à la ferme ? .....	35
4.2.	Faisabilité technique? .....	36



a)	Gérer la qualité du séchage.....	36
b)	Quel volume de maïs est-il possible de sécher ? .....	37
4.3.	Faisabilité économique .....	38
a)	Mettre en place un séchoir spécifique maïs .....	38
b)	Opportunité d'alterner les matières dans un séchoir polyvalent? .....	38
4.4.	Exemple de réalisation – séchage de maïs .....	39
a)	Présentation de l'installation .....	39
b)	Bilan thermique.....	39
c)	Retour d'expérience de l'agriculteur .....	40
d)	Bilan économique.....	41
5.	Séchage de fourrage .....	42
5.1.	Opportunité pour le séchage de fourrage .....	42
a)	Contexte en Bourgogne.....	42
b)	Intérêt général du séchage.....	42
c)	Séchage pour les exploitations avec des bovins lait .....	43
d)	Intérêts du séchage pour les allaitants ?.....	44
5.2.	Faisabilité technique .....	44
a)	Le séchage en vrac.....	44
b)	Le séchage en botte .....	45
c)	Quelle quantité de fourrage peut être séchée ? .....	46
5.3.	Exemple de réalisation – séchage de fourrage en bottes.....	47
a)	Présentation de l'exploitation .....	47
b)	Présentation de l'unité de méthanisation.....	47
c)	Présentation de l'utilisation de la chaleur .....	47
d)	Bilan technique sur 2 campagnes de séchage .....	48
6.	Pour aller plus loin .....	52
6.1.	Exemples de formations .....	52
6.2.	Ressources bibliographiques .....	52

## 1. Synthèse

Pour rentabiliser une installation biogaz, il est nécessaire d'obtenir la prime à la valorisation de la chaleur qui peut représenter entre 15 et 25 % du chiffre d'affaire de la vente d'électricité. Le séchage est une des voies de valorisation possible, elle représente 23 % de la chaleur valorisée au niveau national d'après la synthèse ADEME de juillet 2013.

Dans le cadre de ce rapport, on cherche à dégager les conditions nécessaires pour que l'activité de séchage soit rentable par elle-même. L'ensemble des frais de fonctionnement et de structure doivent être couverts par les recettes de l'activité de séchage et idéalement, l'activité de séchage devrait être capable de payer l'énergie thermique à l'installation biogaz. Dans ce cas, la totalité de la prime à la valorisation de l'énergie (ainsi que éventuellement une rémunération de la chaleur) vient consolider le business plan de l'installation biogaz. Pour atteindre ce résultat, l'activité de séchage doit être bien maîtrisée et l'optimisée ce qui nécessite une formation et un bon suivi de la part de l'agriculteur. Cette recherche de performance permet de transformer la chaleur létale de l'installation biogaz en source de revenu complémentaire pour l'exploitation et peut générer des opportunités de développement/synergie sur le territoire.

Le séchage de trois matières végétales a été étudié : le maïs grain, le fourrage et le bois énergie car ce sont des matières facilement accessibles pour des agriculteurs.

Le bois énergie peut être séché toute l'année tandis que la campagne du maïs grain et du fourrage dure 20 à 40 jours chacune. La contribution à l'obtention de la prime à la valorisation de l'énergie pour le maïs grain et le fourrage est de l'ordre de 10 à 15 % alors qu'elle peut être de 100 % pour le bois énergie.

Une grande diversité de séchoir est disponible sur le marché. Les équipementiers sont issus de domaines très variés et s'adaptent plus ou moins à cette nouvelle forme de chaleur (basse température, production continue). Les séchoirs les plus courants en méthanisation sont les séchoirs à plat, en benne, en cellule ou en séchoir à bande. Les séchoirs à bande de part leur fonctionnement en continu semble être bien adapté à la production continue de chaleur par l'unité de méthanisation mais ils sont plus chers à l'achat et au fonctionnement.

Le choix d'investir dans l'une ou l'autre technologie dépend du type de matière à sécher et de la puissance thermique disponible. En effet, plus la puissance thermique est élevée, plus il est possible d'investir dans un séchoir coûteux (avec plus d'automatisation, de capteur et de gestion des paramètres de séchage). Pour les installations de moins de 100kWth disponible, des solutions de vente directe de la chaleur semblent préférable car le coût de l'investissement dans un séchoir sera difficile à rentabiliser.

Pour une utilisation toute l'année de la chaleur dans un séchoir, il est préférable de s'orienter vers des séchoirs polyvalents (séchoir en benne, à plat ou à bande). Il est ainsi possible de s'adapter à différents types de matières et de répondre aux demandes de différents types de clients. Néanmoins, pour être rentable, le séchoir devra être utilisé toute l'année avec une recherche de performance et d'optimisation inter et intra cycle.

Avec un séchoir polyvalent, il peut être intéressant de sécher le maïs à la place du bois en octobre/novembre. Le revenu est a priori supérieur (volume plus élevé pour une même période de temps et recette plus importante à la tonne). Il existe cependant des difficultés techniques en séchoir à plat ou en benne ce qui nécessite un bon suivi du séchage du maïs.

Pour les installations biogaz qui ont de la chaleur disponible uniquement en été il peut être envisageable d'investir dans un séchoir spécifique maïs ou fourrage en botte. L'investissement dans un séchoir dédié ne sera rentable que si l'installation biogaz dispose d'une forte puissance (>250kWhn disponible). Les coûts à l'investissement sont élevés mais si les volumes séchés sont suffisants (ce qui suppose une puissance minimum), l'investissement est rentable.

Le séchage de bois énergie semble être une voie intéressante de valorisation de l'énergie sur l'année entière car des besoins existent en bûche sèche (demande urbaine) et en plaquette sèche (chaudière de puissance inférieure à 300kW). Les deux points importants à étudier localement lors du montage d'un projet sont : 1/ la logistique d'approvisionnement qui doit permettre de limiter les transports et les ruptures de charges et 2/ une augmentation de prix du bois énergie qui se justifie de part la plus grande qualité du produit obtenu.

## 2. Notions de base sur le séchage

### 2.1. Principe du séchage

#### a) L'eau dans la matière végétale et les étapes du séchage

L'eau dans la matière végétale se trouve sous 3 formes : l'eau libre, l'eau liée et l'eau de constitution. Seules les 2 premières peuvent être évaporées. L'eau libre s'évapore facilement, elle remplit l'intérieur des cellules tandis que l'eau liée est fixée aux parois cellulaires.

Le séchage se déroule en trois phases. Ces trois phases sont les mêmes pour les céréales, le fourrage et le bois.

Phase	Origine de l'eau	Vitesse d'évaporation	Température de la matière	Besoin en énergie
Phase 1			Montée en température de la matière (étape rapide)	
Phase 2	Évaporation de l'eau libre	Rapide	Température relativement constante	Faible
Phase 3	Évaporation de l'eau liée	Lente	Élévation de la température	Élevé

La phase 3 est la plus lente et la plus énergivore. Elle débute autour de 30 % d'humidité sur anhydre (soit 0,23 % d'humidité sur matière brute). D'un point de vue économique, il est donc important de :

- bien définir le taux d'humidité objectif, celui correspondant au déboucher visé,
- suivre la fin du séchage pour limiter les consommations excessives d'énergie.

Un séchage excessif conduit à une augmentation des consommations d'énergie, une immobilisation plus longue du séchoir d'où un coût de revient moindre, voir une dégradation du produit (graines).

#### b) Ordre de grandeur des objectifs de taux d'humidité et des températures limites de séchage

Les objectifs en termes de taux d'humidité sont généralement les suivants :

Matière	Taux d'humidité sur matière brute
Maïs	Objectif de séchage 15 % d'humidité sur brut 17 % si dryération
Blé	Objectif de séchage 15 % d'humidité sur brut
Fourrage	Objectif de séchage 15 % d'humidité sur brut
Bois	Objectif de séchage 20 % d'humidité sur brut (harmonisation actuelle de la filière autour de cette valeur) Éventuellement 15 % si destiné à la gazéification ?
Autres graines (tournesol, colza, ....)	Objectif de séchage 15 % d'humidité sur brut

En fin de séchage la température augmente. Cette augmentation de température est liée à la moindre quantité d'eau évaporée au regard de l'énergie fournie. En fonction des matières et des débouchés des températures limites sont à respecter.

Une cogénération produit une chaleur à 90°C (sortie cogénération/entrée séchoir) et demande un retour d'eau à 70°C (entrée cogénération/sortie séchoir). Au niveau de l'échangeur thermique, on peut obtenir un air chaud de 60-80°C.

Cette forme de chaleur est intéressante car elle permet d'obtenir des produits de bonne qualité (les protéines notamment ne sont pas dégradées). Par ailleurs, cette faible température limite les risques d'incident au séchage.

Température limite (air de séchage)	45°C	60°C	70°C	90°C	120C
Maïs	Semences		Amidonnerie	Usage industriel	Alimentation animale bovin
Blé	Semence		Maximum 70°C		
Bois (données issues des tables de séchage du bois d'œuvre)		Orme 60°C Chêne 65°C	Charme 76°C	Résineux 96°C	

### c) Facteurs contrôlant le séchage

Lors du séchage, on utilise la capacité de l'air à absorber une certaine quantité d'eau. Cette capacité d'absorption dépend de plusieurs facteurs sur lesquels l'exploitant peut jouer.

Facteurs	Action de l'exploitant	Effet
La température de l'air de séchage	Chauffage de l'air en entrée du séchoir	Plus la température est élevée plus la capacité d'absorption de l'eau par l'air est importante.  Par exemple, à 10°C, l'air peut contenir au maximum 17,2g d'eau par m <sup>3</sup> alors qu'à 30°C il peut contenir 30,5g d'eau par m <sup>3</sup> .
Taux d'humidité de l'air	Mise en place éventuel d'un déshumidificateur	Plus le taux d'humidité de l'air est faible plus la capacité d'absorption de l'eau par l'air est importante.
Le renouvellement de l'air	Débit d'air géré par les ventilateurs	Plus l'air est renouvelé, plus le taux d'humidité est maintenu bas et meilleur est la capacité d'absorption de l'air

Les caractéristiques de l'air ambiant (son taux d'humidité et sa température initiale) impactent les caractéristiques de l'air de séchage. Ainsi, l'efficacité du séchage varie au cours d'une journée et au cours de l'année. Exemple : il est plus facile de sécher le maïs en début de saison qu'en fin de saison.



## 2.2. Bases de calcul sur le séchage

Pour évaluer les quantités de matière qu'une installation d'une puissance donnée peut sécher, il est nécessaire de disposer des éléments suivants :

- les caractéristiques de la matière à sécher (taux d'humidité entrante, tonnage de matière humide, taux d'humidité objectif) afin d'en déduire les quantités d'eau à évaporer.
- la quantité d'énergie nécessaire pour évacuer une tonne d'eau.
- la quantité d'énergie dont on dispose sur une période de temps donné.

Il s'agit d'une première approche théorique qui ne permet pas de s'affranchir d'une étude technique de la part de l'équipementier.

### a) **Calcul de la quantité d'eau à évaporer**

Les équations suivantes permettent de calculer les quantités d'eau à évaporer.

Source : ADEME 2011 – Utilisation rationnelle de l'énergie pour le séchage des grains et des fourrages

Avec les notations suivantes :

- Hi* = humidité initiale (grain humide) (%)
- Hf* = humidité finale (grain sec) (%)
- Ph* = masse de grain humide (kg)
- Ps* = masse de grain sec (kg)

On a :

**Équation 1- Masse de grain sec, connaissant la masse de grain humide, les humidités initiale et finale**

$$P_s = P_h \times \frac{100 - H_i}{100 - H_f}$$

**Équation 2 - Masse d'eau à enlever à une certaine masse de grain humide**

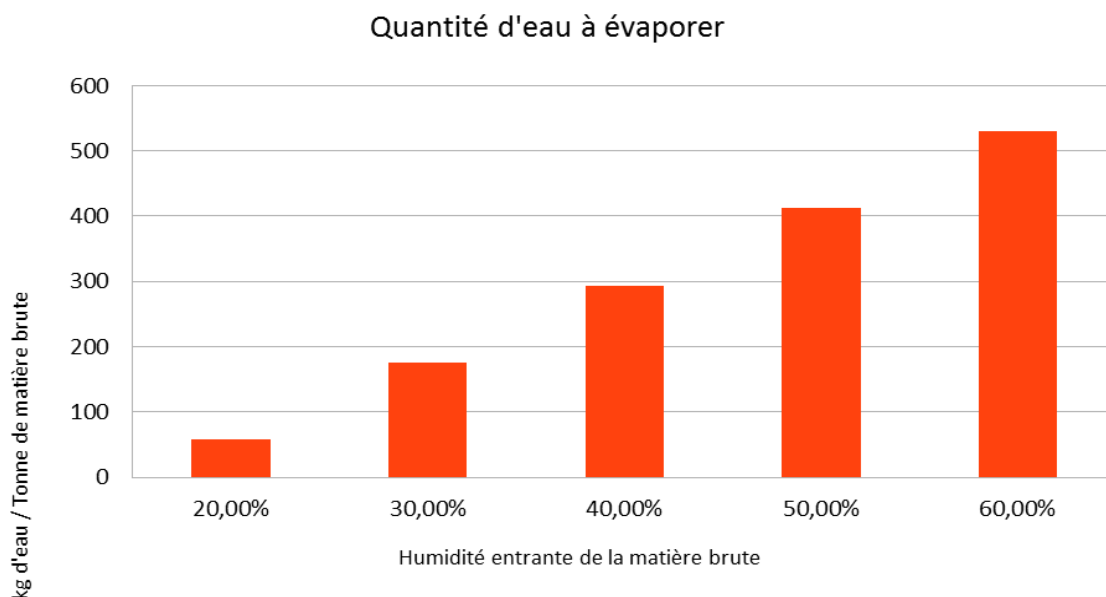
$$P_h - P_s = P_h \times \frac{H_i - H_f}{100 - H_f}$$

**Équation 3 - Masse d'eau enlevée à une certaine masse de grain séché**

$$P_h - P_s = P_s \times \frac{H_i - H_f}{100 - H_i}$$



Le graphique suivant montre la quantité d'eau à évaporer en fonction du taux d'humidité entrant (pour un objectif de séchage à 15 % d'humidité sur matière brute en sortie).



### b) Références sur les performances des séchoirs

Une fois que l'on connaît la quantité d'eau à évaporer, il est nécessaire de connaître la performance du séchoir. C'est à dire la quantité d'énergie nécessaire pour évaporer 1 tonne d'eau. De nombreuses références sont disponibles dans la bibliographie (thèses, études, études de cas,...). Voici quelques exemples.

Matières à sécher	Besoin en énergie thermique	Références
Bois	1,5kWh/kg d'eau – feuillus 1kWh/kg d'eau – résineux 1,5 à 2kWh/kg d'eau – plaquette	Critt bois lorraine Critt bois lorraine WEINGARTMANN (1991)
Maïs	1,16 kWh/kg d'eau 1,15 kWh/kg d'eau	Arvalis (séchoir colonne fixe) Agro-biogaz (sur site)
Fourrages	1,16 kWh/kg d'eau	Segrafo
Céréales	1,1 à 1,3 kWh/kg d'eau	Coop de France (2011)

L'unité choisie est le kWh car c'est l'unité utilisée en méthanisation. Des outils de conversion sont disponibles sur internet pour trouver les correspondances vers d'autres unités notamment les kcalories qui sont fréquemment utilisées.

En général, les études de faisabilité prennent comme besoin énergétique 1,2kWh/T d'eau évaporée. Cette valeur peut aussi servir de référence en cours d'exploitation pour situer les performances de son séchoir et rechercher d'éventuelle optimisation.

### c) Chaleur effectivement disponible sur une unité de méthanisation

Une cogénération convertit le biogaz en énergie électrique et en énergie thermique. Les rendements électrique et thermique ainsi que la courbe de chaleur disponible au cours de l'année sont fournis par les équipementiers. Différents facteurs influencent la production d'énergie thermique.

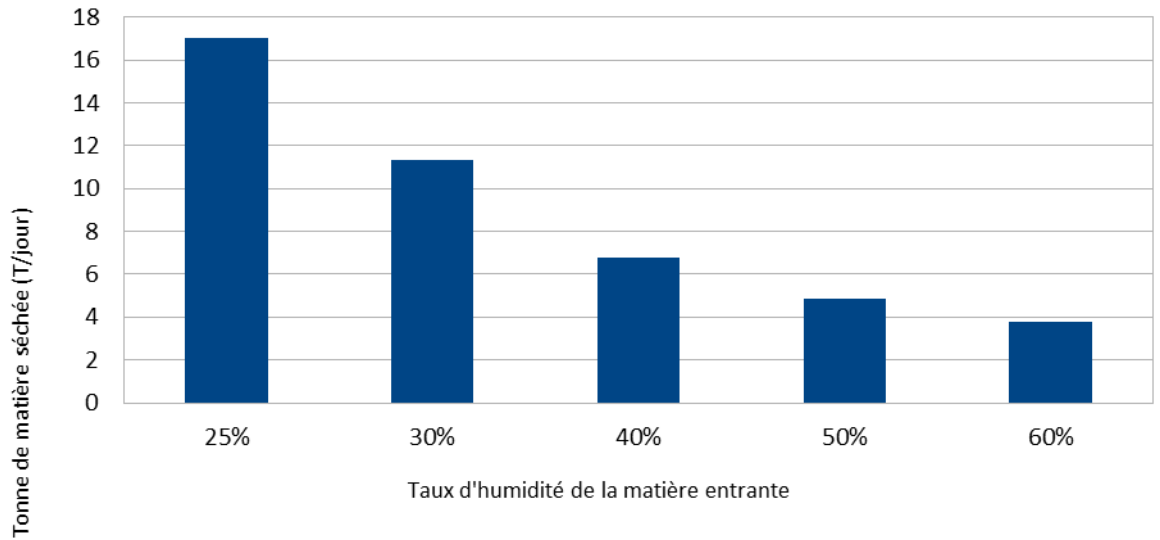
Facteurs	Actions possibles de l'exploitant
Le type de cogénération	En fonction du type de moteur le rendement thermique varie (de 38 % à 50 %)
Le type de récupérateur de chaleur installé	<p>Il existe 4 niveaux de récupération des thermies (chaleur de mélange, chaleur de l'huile de lubrification, chaleur de l'eau de refroidissement et chaleur des gaz d'échappement) qui ne sont pas tous systématiquement installés.</p> <p>Des échangeurs thermiques mal dimensionnés peuvent réduire la quantité d'énergie disponible effectivement.</p> <p>Si les besoins thermiques sont importants, des solutions techniques existent pour augmenter le rendement thermique mais elles doivent être justifiées économiquement (ex : double récupérateur sur les fumées).</p>
Le réseau de chaleur	<p>Fuite sur le réseau de chaleur</p> <p>Mauvaise répartition de chaleur entre les différents usages</p>
La consommation du digesteur	<p>La consommation habituelle au niveau du digesteur est de 30 % de la thermie disponible. Cette consommation dépend de la technologie employée, de l'isolation, des conditions climatiques, type de matière entrante...</p> <p>Toute variation importante devra être analysée pour en comprendre l'origine.</p>
Fonctionnement de l'installation biogaz	<p>La production de chaleur dépend du fonctionnement de l'installation biogaz. La production de chaleur peut être influencée par : des matières peu énergétiques qui entraînent des surconsommations de chaleur au niveau du digesteur, une sous-alimentation du digesteur, des incidents biologiques, des pannes sur la cogénération, ...</p> <p>En fonction de l'importance du maintien de l'activité de valorisation de la chaleur, il peut être opportun d'être équipé d'un système de secours pour la production de chaleur.</p>

**d) Ordre de grandeur des tonnages qu'une installation peut sécher**

Contenu de la quantité d'eau à évaporer et des performances thermiques du séchoir, on en déduit le besoin en énergie thermique. En fonction de la puissance de la cogénération, ce besoin pourra être couvert sur une période plus ou moins longue.

Le graphique suivant montre les quantités de matière qu'une installation de 100kWth peut sécher en 1 jour en fonction du taux d'humidité de la matière entrante.

Capacité de séchage d'une installation biogaz disposant d'une puissance de 100kWth



**2.3. Les séchoirs**

**a) Les spécificités de la méthanisation**

L'unité de méthanisation produit de la chaleur à basse température. La température en sortie de cogénératrice est de 90°C et la température de retour doit être de 70°C.



La chaleur est produite en continu. La chaleur excédentaire produite peut être stockée en ballon pour des durées de l'ordre de la journée. Toute chaleur non utilisée sera perdue.

La chaleur est utilisée en priorité pour chauffer le digesteur qui doit rester en permanence entre 38 et 40°C en mésophile. Ce qui induit des variations saisonnières de la disponibilité en chaleur.

## b) Le process

Le séchoir n'est pas un élément isolé. Il fait partie d'une chaîne d'équipement plus ou moins complexe.

### Les éléments indispensables

Éléments techniques	Points de vigilance
<p>Échangeur thermique</p>  <p>L'échangeur thermique permet d'évacuer la chaleur issue de la cogénératrice. Température du circuit de la cogénératrice : 90°C en sortie et 70°C en retour.</p> <p>La température d'air disponible en sortie de l'échangeur est d'environ 60 à 80°C</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dimensionné pour pouvoir diffuser la totalité de la chaleur disponible (vérifier la température de retour de l'eau pour s'assurer de la bonne évacuation de la chaleur dans le séchoir)</li> <li>- limiter les sources de poussière à proximité pour éviter l'encrassement de l'échangeur ce qui limite son rendement</li> <li>- vérifier la facilité d'intervention pour le nettoyage</li> <li>- ne doit pas freiner le débit d'air sinon l'évacuation de l'humidité sera mauvaise pour un coût électrique important.</li> </ul>
<p>Ventilateur</p>  <p>Le ventilateur a pour fonction de faire circuler l'air dans le séchoir : entrée d'air chaud et sec et évacuation de l'air humide</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le débit doit assurer un bon renouvellement de l'air. Pour chaque matière des débits d'air sont recommandés et dépendent de plusieurs facteurs : type de matière, granulométrie, volume, hauteur du tas, .... A titre informatif, voici quelques données issues de la bibliographie : maïs 200m<sup>3</sup>/h (Arvalis), fourrage 400m<sup>3</sup>/h (SGF Conseil)</li> <li>- la pression doit être suffisante pour permettre à l'air de circuler au sein de la matière sans générer de circuit préférentiel</li> <li>- avec variateur de vitesse pour pouvoir adapter le débit d'air en fonction de la météo, de l'état d'avancement du séchage, de la matière, ...</li> </ul>
<p>Gaine d'amenée de l'air chaud</p> <p>L'air chaud peut être transporté dans des gaines depuis l'échangeur jusqu'au(x) séchoir(s)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vérifier l'isolation de la gaine et son étanchéité</li> <li>- attention au répartiteur d'air =&gt; homogénéité de la circulation de l'air dans le ou les séchoirs</li> <li>- facilité d'amarrage en cas de séchoir mobile</li> </ul>

## Les éléments optionnels

Éléments techniques	Points de vigilance
<p>Capteur solaire / toiture solaire :</p> <p>Pré-chauffage de l'air =&gt; augmente la capacité de séchage Intérêt de mai à septembre et uniquement le jour (environ 100kW gagné / 1000m<sup>2</sup> de toiture)</p>	Faisabilité économique
<p>Déshumidificateur :</p> <p>Abaisse en entrée la teneur en eau de l'air ce qui augmente la capacité évaporatoire de l'air :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- augmente la capacité de séchage pour une même température d'air,</li> <li>- indépendance face aux conditions météo</li> <li>- indépendance face à l'alternance jour/nuit</li> </ul>	<p>Ne peut pas être installé sur tous les séchoirs – nécessite de pouvoir gérer le flux d'air sortant</p> <p>Faisabilité économique : le coût d'investissement et de fonctionnement sont-ils compensés ?</p>
<p>Laveur d'air :</p> <p>Obligatoire pour les produits à risque environnementaux (digestat car l'air est chargé en azote)</p>	Attention à l'encrassement du laveur d'air
<p>Brûleur d'appoint :</p> <p>Au cas où l'installation ne fournit pas suffisamment d'énergie thermique (panne, hiver, ...)</p>	<p>Faisabilité économique</p> <p>A mettre en lien avec une éventuelle chaudière de secours pour l'installation biogaz (pour préserver la biologie en cas de panne sur la cogénération, pour soutenir la cogénération en hiver)</p>
<p>Outil de régulation</p> <p>Appareil de mesure et automate plus ou moins complexe destiné à faciliter l'exploitation du séchoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-capteurs d'humidité, de température, de pression,...</li> <li>-automate de régulation de l'avancé des tapis, de la température, du débit d'air, de l'humidité,...</li> <li>-signaler la fin du séchage, arrêter le séchage</li> <li>-priorité d'usage de la chaleur (digesteur, séchoir, habitation, ...)</li> </ul>	<p>Attention aux interfaces entre les différents équipements</p> <p>Procédure d'étalonnage et d'entretien à effectuer régulièrement</p> <p>Sont-ils facilement accessibles pour la prise de mesure et l'entretien ?</p>

### Les points importants à étudier lors du choix d'un séchoir

Les performances techniques peuvent être exprimées de différentes manières : tonne humide/heure, quantité d'eau évaporé/kWh : elles sont difficiles à obtenir car elles dépendent des conditions de fonctionnement du séchoir. Elles peuvent être fournies pour des conditions standards (pour une température extérieure donnée, à une humidité extérieure donnée, pour un taux d'humidité de la matière donnée, ...)

La consommation électrique : les séchoirs sont équipés de plusieurs appareils électriques comme les ventilateurs, la pompe de circulation de l'échangeur thermique, les éventuels brasseurs, l'éventuel dispositif de déshumidification,.... Il est important de connaître les puissances installées pour estimer correctement le coût électrique du fonctionnement du séchoir.

La main d'œuvre :

- Estimation du temps de travail pour le chargement/déchargement et les éventuelles installations de matériel
- Intervention mécanique en cours de séchage (retournement manuel)
- Temps de surveillance (nombre de prise de mesure à faire, niveau d'automatisation,...)

### c) Les séchoirs à bande – séchage continu

Type de séchoir	Séchoir à bande
Mode de séchage	Séchage continu : la matière est déposée sur un dispositif d'entraînement en entrée du séchoir. La hauteur du tas est régulée mécaniquement. La matière est entraînée en fonction de l'état d'avancement du séchage (capteur). La matière peut être brassée en différents points. En fin de tapis, la matière sèche se déverse dans un dispositif de reprise.
Investissement	> 150 000€
Gamme de puissance	Fonction du constructeur : <ul style="list-style-type: none"> <li>- 80 à 300kWth pour Fliegl</li> <li>- 100 à 700 kWth pour New Ecotech ; 250 à 1100kWth New ecotech (pour digestat)</li> <li>- &gt;200kWth pour MAB</li> </ul>
Tonnage	0,5 à 2T/j (fonction de la puissance thermique)
Type de matière adaptée	Plaquette bois, Digestat, Maïs, Sciure (à voir en fonction de la marque) Extension : déchets (MAB)
Matière non adapté	Bûche, Fourrage
Technologie	Dispositif d'entraînement : caisson à fond mouvant, tapis entraîné par un moteur, sur 1 à 3 étages Gestion de l'air : Sous dépression ou non, arrivée de l'air par dessus, dessous ou transversal Régulation de la hauteur du tas : par un hérissou ou une butée Alimentation et vidange automatisée (trémie, vise de reprise, ...) Puissance électrique nécessaire (avancée du tapis, hérissou, chargement/déchargement, ...) : 6 à 40 kWe Capteur : température, humidité, ... qui peuvent être en option Régulation : de la température, du débit d'air, de l'avancée des tapis, ... qui peuvent être en option Mobile ou non, Standard ou sur mesure
Performance	<1200kWhth/Tee (tonne d'eau évaporée)
Avantages	Le fonctionnement en continu est favorable à l'utilisation d'un maximum de chaleur.
Point de vigilance	Durabilité du tapis et du dispositif d'entraînement : risque de corrosion, risque de déraillement ou de grippage du mécanisme, difficulté d'entretien. Les mailles du tapis conditionnent le type de matière qu'il est possible de sécher Encrassement / gestion de la poussière Importance de la régularité de la hauteur et du débit pour l'homogénéité du résultat Fonctionnement de nuit et week end => trémie de chargement à adapter
Équipementiers	New Eco Tech, Fliegl, Manufacture à Besancon, Dorset, Scolari, Stela, ...

#### d) Les séchoirs bennes

Type de séchoir	Benne soufflante	Benne soufflante et brassée	Benne soufflante avec contrôle et automatisation
Mode de séchage	Discontinu / par lot : la matière est placée dans un caisson sur caillebotis. L'air chaud est envoyé par dessous.		
	La matière est statique. Le front de séchage avance du bas vers le haut	La matière est mise en mouvement	La matière est statique Automatisation du process avec capteur et recirculation de l'air
Mobilité	Mobile	Mobile	Fixe ou mobile
Investissement	10 à 20 000€	20 à 40 000€	50 000€/benne
Gamme de puissance	À partir de 80kW pour une benne seule. Possible de monter les bennes en parallèle pour monter en puissance. Lauber propose 14 bennes pour 650kW.		
Volume	30 à 40 m <sup>3</sup> utile		
Matière possible	Bûche Plaquette Maïs et graines	Plaquette Maïs et graines	Bûche Plaquette Maïs et graine
Matières non recommandées	Fourrage vrac, fourrage botte, Sciures		
Performance	>1500kWhth	>1200kWhth	<1200kWhth
Avantages	Les bennes mobiles permettent d'éviter les ruptures de chargement. Consommation électrique faible (sauf si brassage). Dispositif modulable par ajout de benne.		
Point de vigilance	Taille des perforations qui conditionne le type de matière Pas ou peu d'automatisation Gestion de la condensation		
Équipementier	Autoconstruction, Lauber	Hervé	Thermo System

La gamme des séchoirs en benne est assez large avec des niveaux d'automatisation et d'optimisation variés. L'autoconstruction se rencontre facilement avec un risque de mauvaises performances : consommation énergétique, répartition de l'air de mauvaise qualité générant des zones qui sèchent mal.

Les séchoirs en benne apportent un plus par rapport aux ruptures de charge. Par contre, Au delà d'un certain nombre de benne, le coût d'investissement peut être moins intéressant que des séchoirs en bande ou en cellule.



## e) Les cellules de séchage

Type de séchoir	Plateforme de séchage	Cellule de séchage
Technologie	Plateforme circulante sur caillebotis Ventilation par dessous Éventuellement installation de gaine au sein des tas Complément possible avec un toit solaire	Plateforme circulante ou non Recirculation de l'air, gestion de l'hygrométrie (moindre dépendance aux conditions climatique) Installation possible d'un déshumidificateur Complément possible avec un toit solaire
Investissement	Tarif très variable selon la technologie et les dimensions du séchoir ou de la plateforme.	
Gamme de puissance	Modulable en fonction de la surface	> 200kW
Tonnage	Modulable en fonction de la surface Pour le maïs – épaisseur de 50-60cm	Préférable > 400T
Matière	Bois bûche, Plaquette conditionnée ou non Maïs et graines Fourrage en vrac, Fourrage en botte (avec adaptation de la grille)	Bois bûche Fourrage en vrac Plaquette conditionnée ou non
Performances	Sans doute > 1500kWh/Tee	1200kWhth/Tee
Avantages	Grande polyvalence sur les matières Coût moins élevé	Les cellules peuvent être très spécifique (maïs, fourrage vrac, bois d'œuvre)
Point de vigilance	Taille des perforations Hétérogène du séchage	
Équipementier	Les mergers Autoconstruction	Les mergers, Lasco, Thermo system, Lauber

Le séchage à plat est polyvalent mais aura des performances peu élevée car il est difficile de bien contrôler les paramètres de séchage. Ce type de séchage est en général peu automatisé, peu équipé en capteur et nécessite un suivi direct et important de la part de l'exploitant. Les demandes augmentent sur ce type de séchage.

Les dispositifs avec recirculation de l'air offre de meilleures performances.

## f) Les séchoirs spécifiques

### Pour le maïs

Les séchoirs spécifiques pour le maïs présentent une grande diversité de technique et de dimensionnement ce qui permet de s'adapter plus facilement aux quantités, au temps disponible, à la main d'œuvre, au niveau d'investissement. Ce type de séchoir présente des performances élevées pour le maïs et d'autres graines (blé, colza, ...). Pour une description plus complète des séchoirs à maïs, se reporter à l'Etude ademe sur le séchage de grain.

Type de séchoir	Couplage méthanisation	Température de Séchage	Marque
Continus	Pré-chauffage d'air par la cogénération biogaz  Le séchage est assuré par une chaudière ou un brûleur	Haute température (130°C)	FAO, Law, Omnium, Alvan Blanch, Jamase, Euromat, Gaujac, Opico, Drak Drager, Mecmar, ...
Fixes à recirculation			
Mobiles à recirculation			
Cellules sèches	Utilisation directe de la chaleur issue de la méthanisation (brûleur d'appoint par sécurité)	Basse température (55-65°C)	Sukup, Red Gant, Jamase, ...

### Pour les bottes de foin

Type de séchoir	Séchoir à bottes		
Technologie	De l'air chaud est soufflé dans les bottes de foin. Le flux d'air peut être uni ou bidirectionnel. Dans le cas de séchage uni directionnel il peut être nécessaire de retourner les bottes à mi-séchage.		
	Lasco	Clim Air 50	Agricompat technologie
	Flux d'air unidirectionnel Mobile Souplesse de branchement	Flux d'air bi directionnel  Mobile	Flux d'air uni directionnel  Fixe Sous abris avec toiture solaire et recirculation de l'air jusqu'à saturation
Performances	>1200kWhth	1200kWhth	1200kWhth
Investissement	20 000€ à 100 000€		
Gamme de puissance et tonnage	De 80kW (4 à 8 bottes par cycle) à 700kW (35 à 70 bottes par cycle)		
Matière	Fourrage en botte (avec adaptation de la grille à différentes formes de botte) Certaines marques proposent des adaptations pour d'autres matières (copeaux de bois)		
Point de vigilance	Adaptation de la récolte au débit du séchoir Le pressage des bottes est un point délicat Adéquation du besoin de foin sec / puissance Pas d'automatisation		
Équipementiers	Clim Air 50, Agricompat technologie, Lasco		

**g) Quel séchoir pour quelle matière ?**

Toutes les matières ne peuvent pas être séchées dans n'importe quel séchoir. Ce tableau donne idée générale du type de séchoir adapté par matière mais des cas particuliers peuvent exister.

	Maïs	Graine	Plaquette	Bûche	Sciure	Fourrage
Séchoir à bande	(1)	OK	OK	Non	(3)	Non
Plateforme séchante	(1) (2)	OK	OK	OK	Non	OK avec adaptation de la grille
Benne séchante	(1) (2)	OK	OK	OK	Non	Non
Cellule sécheuse	OK de type silo	OK de type silo	OK	OK	Non	OK
Séchoir en botte	Non	Non	Non	Non	Non	OK

(1) Avec risque de sur consommation d'énergie

(2) Avec risque sur la qualité du séchage, notamment hétérogénéité

(3) En fonction de la marque

**h) Gamme de prix et de puissance**

Le tableau suivant reprend le prix et la puissance de quelques séchoirs installés chez des méthaniseurs ou des forestiers.

Puissance thermique	<100kW	100-150kW	150 - 200kW	200 - 400kW	> 400kW
Séchoir à bande		120kW 110 000€	180kW 150 000€		600kW 250 000€ (plaquette)
Plateforme séchante	100 kW – 60000€ hors hangar				600kW – 600 000€ (séchage de fourrage avec toiture solaire)
Benne séchante		100kW – 74 000€			
Cellule sécheuse			150kW 60 000€ (maïs)	300kW 150 000€ (bois)	600kW 200 000€ (bois)
Séchoir en botte		100kW 45 000€	150kW 70 000€	300kW 100 000€	

## 2.4. Grille d'analyse économique

Une unité de méthanisation est une installation de production d'énergie renouvelable dont l'investissement est lourd. Pour appuyer le développement de cette filière des tarifs d'achat sont définis par arrêté et des subventions sont généralement allouées aux porteurs de projet. Le tarif actuel comprend un tarif de base, une prime à l'utilisation d'effluent d'élevage et une prime à la valorisation de la chaleur. La prime pour la valorisation de la chaleur représente de 11 à 25 % du prix d'achat de l'électricité en fonction de la puissance installée. La rentabilité des installations biogaz dépend de l'obtention de cette prime. Ce qui amène les agriculteurs à rechercher des solutions de valorisation de la chaleur.

L'activité de séchage doit permettre à l'installation biogaz de toucher la prime à la valorisation de l'énergie sans générer de coût supplémentaire pour la méthanisation. L'activité de séchage doit être rentable par elle-même.

### a) **Le coût de revient**

Dans le cadre de cette étude, le coût de revient est important. En effet, le porteur de projet devra positionner sa prestation de service sur un marché. Il est donc important de savoir si son offre est compétitive par rapport aux autres solutions qu'offrent le territoire.

Le prix de revient comprend 3 éléments :

- les charges fixes : amortissement, frais financiers, assurance. Les charges fixes ramenées à l'unité la plus adaptée pour le projet (à la tonne, à la journée de séchage, à la tonne d'eau évaporée, ...) peut constituer un prix de location du séchoir ;
- les charges variables : frais électriques et main d'œuvre ;
- la vente de la chaleur. Ce prix est mis à part car il constitue un argument commercial (chaleur à bas coût et dont l'évolution du prix est connu sur le long terme).

Le coût de revient peut être exprimé de différentes façons :

- rapporté à la tonne de matière brut ou sèche ;
- rapporté à la tonne d'eau évaporées (notamment si l'humidité de la matière entrante varie beaucoup) ;
- rapporté à une journée de séchage...

## b) Proposition de grille pour l'analyse économique d'un projet de séchage

La grille suivante présente les principaux éléments à prendre en compte dans le chiffrage et l'analyse économique des projets de séchage.

<b>Charges opérationnelles</b>	
Energie thermique	<p>Cette charge est intéressante à prendre en compte en cas de prestation de service. Repère : la valeur de l'énergie bois est de 22€/Mwhth. Le prix de la chaleur peut être la variable d'ajustement pour atteindre un prix de prestation convenable.</p> <p>Temps de fonctionnement du séchoir (heure) * puissance thermique disponible</p>
Energie électrique	<p>12€/MWh. Tarif prenant en compte l'abonnement et les différentes taxes Puissance électrique allant de 6 à plus 40kW</p> <p>Temps de fonctionnement du séchoir (heure) * Puissance électrique des différents équipements</p>
Entretien	Estimé à 5 % du montant des équipements (hors génie civil et bâtiment)
Manitou	40€/heure de fonctionnement
Main d'œuvre	<p>Chargement/déchargement Installation d'équipement Surveillance</p> <p>Retour d'expérience : - chargement d'une cellule séchage de bois bûche : 4h pour 130T de bois brut - chargement de 24 bottes de foin en 15 min</p>
<b>Charge fixe</b>	
Amortissement	Pour les équipements techniques : 12 ans
Frais financier	Sur 12 ans, taux de 3,5 %
Assurance	Estimée à 0,5 % de l'investissement
<b>Recettes</b>	
Prestation de séchage de bois	<p>Prestation nouvelle et pas forcément justifiée pour de nombreux acteurs de la filière bois. Le tarif de prestation doit être acceptable pour la filière.</p> <p>Retour d'expérience : - 15 €/T de matière entrante (plaquette) 10€ par stère (bûches)</p>
Prestation de séchage de maïs	<p>Le tarif des coop oscillent entre 20 et 30€/T de maïs sec en fonction du taux d'humidité Coût de transport et de manutention en plus</p>
Séchage de fourrage	Gain en valeur fourragère - Économie sur l'achat d'aliment
<b>Prime à la valorisation de l'énergie</b>	
Prime V	La part de la prime résultant de l'activité de séchage peut être évaluée à partir de la quantité d'énergie thermique valorisée par le séchoir par rapport à l'énergie thermique valorisable.

### 3. Séchage de bois énergie

Traditionnellement, le bois énergie est un sous-produit du bois d'œuvre. Il sèche naturellement à l'air libre ou sous hangar durant 6 - 12 mois avant d'être vendu.

Sécher artificiellement le bois énergie est une pratique nouvelle qui est encore peu employée mais qui tendent à se développer. Pour les raisons suivantes :

- - améliorer la qualité du combustible bois ;
- - répondre aux exigences des chaudières récentes de faible puissance (<300kW),
- - permettre aux exploitants forestiers de résoudre un problème de gestion de flux (demande croissante en bois de chauffe, épuisement des stocks de bois sec en hiver, frais d'immobilisation du bois, gestion de la trésorerie...)

Les porteurs de projet biogaz peuvent méconnaître cette opportunité. Ils ont besoin d'être informés et d'être mis en relation avec les exploitants forestiers.

#### 3.1. Opportunité pour le séchage de bois en Bourgogne

##### a) Intérêt du séchage artificiel pour le bois énergie

Le séchage artificiel du bois présente plusieurs avantages :

Intérêt pour la qualité du combustible	Augmenter la valeur énergétique du bois. Plus le bois est sec plus son PCI augmente (voir graphique page suivante). PCI garanti Possible d'atteindre des taux d'humidité impossible à atteindre à l'air libre
Intérêt sur le fonctionnement des chaudières	Bois plus homogène/uniforme ce qui facilite le réglage des chaudières et améliore leur fonctionnement. Moins d'encrassement des machines car moins de résidus de combustion. La chaudière fonctionne à une puissance/rendement plus élevé.
Intérêt pour le forestier	Pas ou peu de décomposition biologique (pas d'eau pour le développement de micro-organisme) ce qui évite la perte de masse et d'énergie lors du stockage. Pas ou peu de développement de champignons nocifs pour la santé.
Intérêt pour l'environnement	Améliore la qualité de l'air (moins de polluant sont émis lors de la combustion d'un bois sec) Poids de transport plus faible pour couvrir un même besoin énergétique

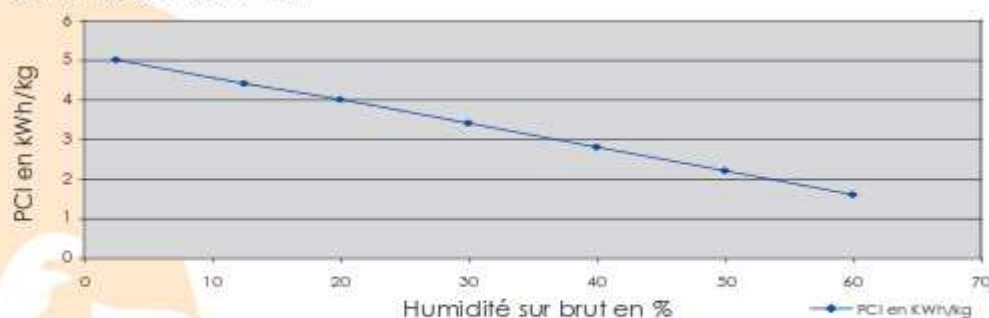
##### Zoom sur la valeur énergétique du bois

La combustion du bois dans une chaudière se déroule en plusieurs étapes. La première consiste à sécher le bois. Or plus le bois est humide, plus l'énergie consommée lors de cette phase sera importante et moins il restera d'énergie disponible pour le chauffage effectif.



Le graphique suivant montre le fort impact du taux d'humidité sur la valeur énergétique du bois. Plus le bois est sec, plus sa valeur énergétique est élevée.

L'abaque ci-dessous permet de relier très rapidement le taux d'humidité au PCI :



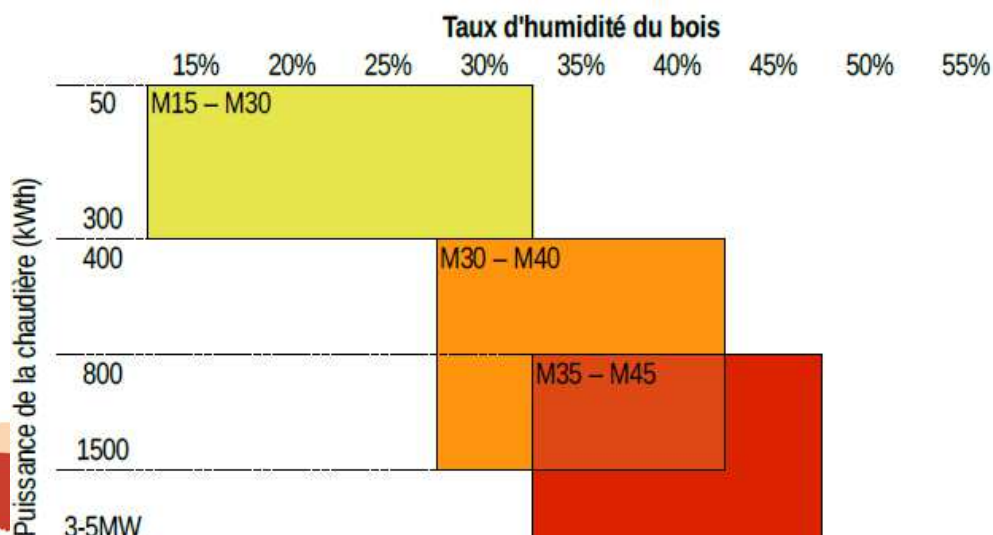
Source : *Mesure des caractéristiques des combustibles bois, "Evaluation et proposition de méthodes d'analyse de combustible"* – ADEME, CriffBois, Fibois, CTBA – Juin 2001

### Zoom sur la qualité de l'air

Selon le Citepa 2009 (Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique), en France, 21 % des émissions de particules fine PM 10 (taille inférieur à 10micron) et 34 % des particules fines PM 2.5 (taille inférieur à 2,5micron) provenaient de la combustion de bois. La majeure partie de cette pollution provient des foyers ouverts et de la combustion de bois humide. Les particules fines provoquent des maladies respiratoires qui selon l'institut de veille sanitaire seraient responsables en France de 42000 décès prématurés par an. La combustion de bois sec contribue à améliorer la qualité de l'air

### Zoom sur les exigences des chaudières pour la qualité du combustible

L'application des directives sur la qualité de l'air et sur la transition énergétique a induit une amélioration des performances des chaudières. Les chaudières sont dorénavant vendues avec un cahier des charges sur le combustible. En effet, pour que la chaudière fonctionne à sa puissance nominale et que ses rejets soient conformes à la réglementation, le combustible doit répondre à un certain nombre de critères (taux d'humidité, granulométrie, taux de cendres, PCI, taux de fines, type d'essence,...). L'exigence croissante des chaudières vis à vis du combustible induit la mise en place de norme et de label de qualité sur le combustible.



La contrainte sur le taux d'humidité du bois varie en fonction de la puissance de la chaudière. Ce schéma tiré de la Classification simplifiée des combustibles bois déchetés du CIBE montre que les plaquettes séchées s'adressent aux chaudières de petite et très petite puissance (<300kW).

## b) Etat du marché du bois énergie en Bourgogne et prévisions de développement

### Quelques chiffres sur la production de bois énergie en Bourgogne

En Bourgogne, la forêt représente 30 % de la surface du territoire et offre 15000 emplois directs (en 2010).

Les énergies renouvelables produites en Bourgogne permettent d'assurer 7 % des besoins en énergie de la région et le bois représente 87 % des énergies renouvelables produites (en 2009, source Alterre Bourgogne).

70000 résidences principales soit 12 % des résidences principales sont chauffées au bois (source SCRAE).

### Parc de chaufferie et prévision d'évolution

Les chaufferies collectives sont présentes sur tout le territoire. Ce qui est un atout pour les porteurs de projet biogaz eux même situés en zone rurale.

En Bourgogne, l'ADEME prévoit un accroissement des chaudières de faible puissance à un rythme de 20 à 25 nouvelles chaudières par an. La région dispose de ressource en bois suffisante pour alimenter cette demande.

Nombre de chaufferie automatique	Puissance installée			Total
	Faible puissance <300kW	Moyenne puissance 300 - 1000kW	Forte puissance >1000kW	
2012	113	30	11	154
2014				235 (396kW de moyenne)
Rythme actuel	+ 20 à 25 chaudières par an de faible puissance			
Perspectives SCRAE 2020	+ 45 chaudières par an de faible puissance (chiffre idéal pour atteindre les objectifs de production d'énergie renouvelables de la région à l'horizon 2020) La quantité de bois supplémentaire à mobiliser est estimée à 550 000t sur un gisement exploitable estimé à 900 000t			

Sources : Aprovalbois, ADEME et SCRAE

### Consommation de bois et prévisions d'évolution

D'après Aprovalbois (synthèse régional 2012), la consommation de bois énergie en Bourgogne est la suivante :

Le marché du bois bûche stagne mais la demande en qualité augmente :

- Premier mode de consommation de bois énergie en Bourgogne.
- Les circuits d'approvisionnements sont nombreux et difficiles à appréhender du fait de la facilité d'accès à la ressource en bois. De nombreuse personne produisent leur propre bois bûche.
- Globalement l'offre est peu structurée. Cette situation tire le prix de vente à la baisse (prix local inférieur aux indices nationaux).
- Au vu des faibles tarifs locaux, les producteurs professionnels de bois exportent leur production en dehors de la région (2/3 du bois bûche produit en Bourgogne est



exporté).

- D'après l'enquête Aprovalbois 2012, les entreprises sont de petites tailles. Les 59 entreprises ayant répondu à l'enquête produisent annuellement 70 220 T soit un volume moyen de 1200T/ an. Ce volume moyen cache de forte disparité (300T à 10 000T/an).
- La demande en bois bûche évolue en zone urbaine : les foyers sont plus récents et ils sont alimentés en bois sec, en petit conditionnement (manque de place de stockage) et acheté relativement cher.
- Mise en place d'un label de qualité : Bourgogne bois bûche – 10 adhérents en 2014 (obligation d'afficher le taux d'humidité)
- Les stocks de bûche sèche s'épuisent en hiver ce qui génère des tensions sur le marché et la vente de bois encore humide. Attention cependant aux disparités annuelles, ainsi hiver 2013 a été beaucoup plus rigoureux que l'hiver 2014 générant beaucoup plus de tension qu'en 2014.

=> Opportunité pour la méthanisation : la demande de bois bûche est à la baisse mais une demande spécifique urbaine existe en bois sec. Cette demande peut être difficile à fournir particulièrement au cœur de l'hiver et en fonction des conditions climatiques.

Le marché du bois plaquettes est à la hausse :

- Taille moyenne des entreprises : d'après l'enquête de 2012, 24 entreprises ont répondu pour un tonnage total de 67 000T/an de plaquette soit un tonnage moyen de 2800T/an
- Entreprise spécialisée soit sur plaquette humide soit sur plaquette sèche (calibré, séché, livré)
- La demande de bois plaquette a été augmentée d'un facteur 2,8 entre 2010 et 2012.
- La production de bois plaquette est soutenue par l'installation de 20 à 25 nouvelles chaufferie de petite puissance par an. La demande supplémentaire de bois plaquette est de 500 000T/ an à l'horizon 2020.
- Le marché noir est beaucoup moins présent sur le marché de la plaquette du fait du besoin en équipement spécifique (broyeur, plateforme, ...).

=> Opportunité pour la méthanisation : demande à la hausse sur les plaquettes sèches de catégorie C1 (spécifique pour les chaufferies de petite puissance)

Le marché du granulé est en très forte hausse

- Le démarrage de 2 usines de production de granulé à gros tonnage (2014-2015, Biosyl à Cosne cours sur Loire et Rettenmaier à Brenil) devrait tirer le prix du bois énergie à la hausse

=> Opportunité pour la méthanisation ? Marché en forte hausse, production destinée à l'exportation, production de gros tonnage à partir de séchage de sciure puis granulation. A priori, marché peu accessible pour la méthanisation (séchoir sciure spécifique, fort investissement, besoin en énergie thermique important)

### 3.2. Faisabilité technique

#### a) Quel type de bois ?

Les 2 cibles pour les porteurs de projet biogaz sont :

- le bois bûche de qualité (bûche sèche voir conditionnée)
- les plaquettes forestières sèches destinées aux chaufferies individuelles ou collectives de faible puissance (<300kW).
- Type de bois (les professionnels qui adhèrent label France bois bûche s'engagent à ne pas livrer de résineux, à informer le client sur les essences et à privilégier les bois durs (chêne, hêtre, châtaignier, frêne, orme, charme) dont le PCI/T est plus élevé.

#### b) Qualité du séchage

Lors du séchage des bûches, il existe un risque de ne pas sécher les bûches à cœur. Le séchage idéal permet d'évacuer l'eau située en périphérie de la bûche au même rythme que la migration de l'eau du cœur vers la périphérie de la bûche. Si l'évaporation est trop rapide, il se produit un glaçage de la surface, formation d'une couche dure et sèche, qui empêche la migration de l'eau du cœur vers l'extérieur.

Défauts	Causes possibles
Bois séché en surface mais pas à cœur	Évaporation trop rapide en surface qui ne permet pas la migration de l'eau du cœur vers la périphérie : - Température trop forte => augmentation progressive de la température de séchage - Débit d'air trop important
Séchage hétérogène entre bûche	Passage préférentiel de l'air : ventilation trop forte Ventilation mal distribué dans le tas Mélange d'essence (les bois dur mettent plus de temps à sécher)

Les tables de séchage de bois d'œuvre peuvent être utilisées pour conduire le séchage sans se soucier des contraintes liées à la déformation du bois qui n'ont pas d'importance en bois énergie.

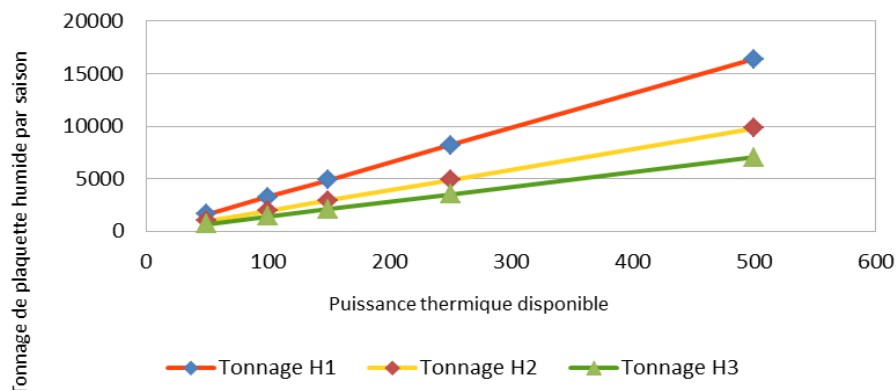


### c) De quel volume parle-t-on ?

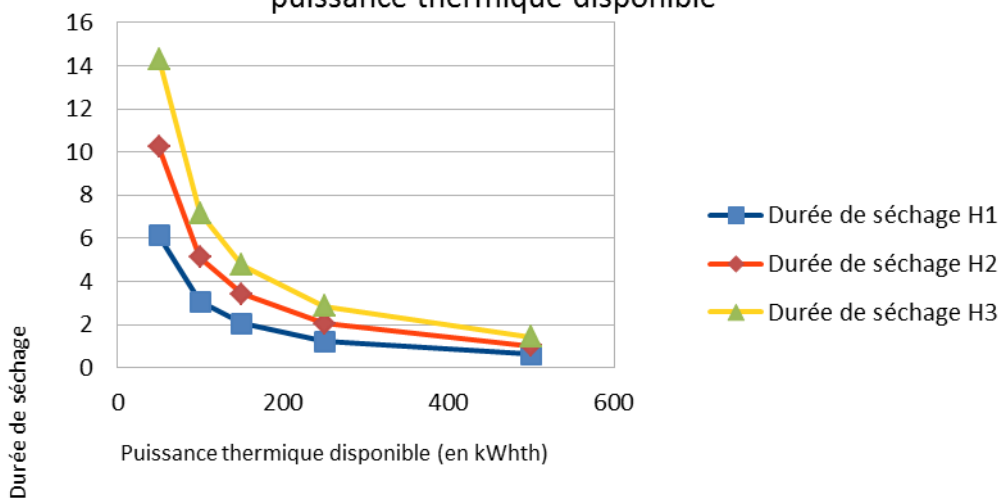
Le graphique suivant montre la quantité de bois qui peut être séchée en fonction de la puissance thermique disponible. Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- besoin d'énergie pour évacuer une tonne d'eau : 1,2kWh/kg d'eau
- le séchoir fonctionne 8000h/an
- humidités en entrée de la plaquette : H1 = 35 %, H2 = 45 % et H3 = 55 %

Capacité de séchage de plaquette en fonction de la puissance thermique disponible



Durée de séchage de plaquette humide en fonction de la puissance thermique disponible



Comme le montre les graphiques ci-dessus, les installations de 100kWhth peuvent sécher 1000T de plaquette humide (45%) par an et accepter 1 semi tous les 10 jours. Les installations de 500kWhth peuvent sécher 10 000T de de plaquette humide (45%) par an et accepter 1 semi par jour.

Pour les plaquettes de bois qui peuvent avoir un taux d'humidité très variable, le graphique montre que la quantité séchée peut aller du simple au triple pour une même puissance thermique. Pour les porteurs de projet il est donc important de prévoir un système de rémunération qui ne tient pas uniquement compte de la quantité de matière séchée. Par exemple en facturant la prestation sur le temps de location du séchoir et les tonnes d'eau évaporée ou l'énergie thermique utilisée.

#### d) Estimation des besoins en volume au sein de la filière

Le tableau suivant permet d'avoir une idée des quantités enjeu au niveau des différents acteurs de la filière.

	Quantité de bois brut/an
Besoin d'une chaufferie bois plaquette de faible puissance	1000 à 2000T brutes par MW installé et par an (Mémento 2014 FCBA) (10 chaufferies de 100kW ou 5 chaufferies de 200kW)
Capacité de séchage d'une installation biogaz de 150kWth qui sécherait toute l'année	Environ 2500T de bois humide à 45 % par an
Production moyenne d'une entreprise de production de bois énergie (en Bourgogne)	Bûche : 1200T/an (avec de grande disparité : de 300 à 10 000T/an) Plaquette : 2800 T/an

Ces différents chiffres montrent que la capacité de séchage d'une installation biogaz est dans les mêmes ordres de grandeur que la production annuelle d'un forestier.

### 3.3. Faisabilité économique

L'activité de séchage de bois est une offre nouvelle qui est plus ou moins acceptée par les forestiers. Une des grandes interrogations des exploitants forestiers est la possibilité de répercuter le prix de la prestation de séchage sur le client.

#### a) Quel tarif de prestation acceptable ?

Les tableaux suivants donnent des indications sur les tarifs de vente et de production du bois bûche et de la plaquette forestière.

Le tableau suivant donne le prix du bois bûche au niveau national pour le 4ème trimestre 2014 (disponible sur internet : [http://www.fnbois.com/fr/actus\\_ceed](http://www.fnbois.com/fr/actus_ceed)).

CEEB 4èmeT 2014	Humidité <=20 %	Humidité >20 %	Différence
Bois bûche 33-40cm	Vrac – 66,3€/stères Palette – 104€/stère	Vrac – 68,6€/stères Palette 76,7€/stères	-2,3€/stère 27,3€/stère
Bois bûche 50cm	Vrac – 60,3€/stères Palette – 86,7€/stère	Vrac – 49,2€/stères Palette 72,8€/stères	11€/stère 13,9€/stère

L'écart de prix entre le bois sec et le bois humide est très variable en fonction du conditionnement et de la dimension des bûches. La marge de manœuvre pour ajouter une prestation de séchage est de l'ordre de 10 à 20€/stère.

Ce tableau compare le coût de production de la plaquette forestière (CIBE 2012) ainsi que le prix de vente de la plaquette. La marge de manœuvre pour ajouter une prestation de séchage est de l'ordre de 10 à 20€/T.

	Prix (catégorie C1 : plaquette forestière à 30 % d'humidité)	Prix de l'énergie (pour un PCI du bois de 3700kWh/T)
Prix de production de la plaquette forestière CIBE 2012 - cahier bois énergie	71€/T	19€/MWh
Indices nationaux CEEB (3ème T 2014) Les indices sont actualisés tous les trimestres : <a href="http://www.fnbois.com/fr/actus_ceeb">http://www.fnbois.com/fr/actus_ceeb</a>	82,5€/T	22,35€/MWh
Prix acceptable à la vente (ADEME bourgogne 2015)	77,7€/T pour les grosses installations (>300kW) 92,5€/T pour les petites chaufferies (<300kW)	21€/MWh pour les grosses installations (>300kW) 25€/MWh pour les petites chaufferies (<300kW)

#### b) Exemple de coûts issus de séchoir de bois en fonctionnement

Pour quelques sites en fonctionnement, nous connaissons les tarifs de prestation de séchage :

- 10€/stère pour du séchage de bois bûche
- 15€/T de matière humide pour de la plaquette forestière

#### c) Répercussion du prix de la prestation de séchage

L'ajout d'une étape supplémentaire de séchage induit des ruptures de charge et des transports supplémentaires. L'intégration d'une prestation de séchage doit se faire de façon raisonnée et concertée entre les différents acteurs pour minimiser les charges et rester dans des coûts acceptables pour le consommateur.

Pour qu'une prestation de séchage puisse d'être acceptable pour le forestier, il est important que :

1/ Le projet soit conçu de façon à optimiser les ruptures de charges. Différents scénarios peuvent être envisagés :

- vente de chaleur via un réseau de chaleur (si activité forestière déjà à proximité immédiate).
- délocalisation d'activité du producteur de bois sur le site de méthanisation,
- mise en place de benne soufflante et roulante (pour éviter une rupture de charge au moment du séchage) ou d'un autre dispositif permettant de limiter les ruptures de charge,

2/ Le forestier doit travailler sur les économies internes que la prestation de séchage autorise : réduction des amortissements sur les stocks de bois immobilisés, gestion de la trésorerie facilitée, économie sur la création éventuelle de hangar, fidélisation des clients....

3/ Le forestier devra vendre ce nouveau produit de haute qualité à un prix plus élevé (création d'une nouvelle catégorie de produit). Cette hausse des prix passe par une démarche de communication auprès des clients qui nécessite une bonne caractérisation du produit (humidité, essence, PCI, ...).

#### d) Exemple de calcul du coût de revient du séchage pour une installation biogaz

Exemple de calcul du coût de revient pour :

- une installation disposant d'une puissance thermique de 100kWth
- séchage de bois bûche de 45 % à 20 % d'humidité de la matière brute
- investissement de 70000€ dans 4 bennes roulantes
- amortissement sur 12 ans

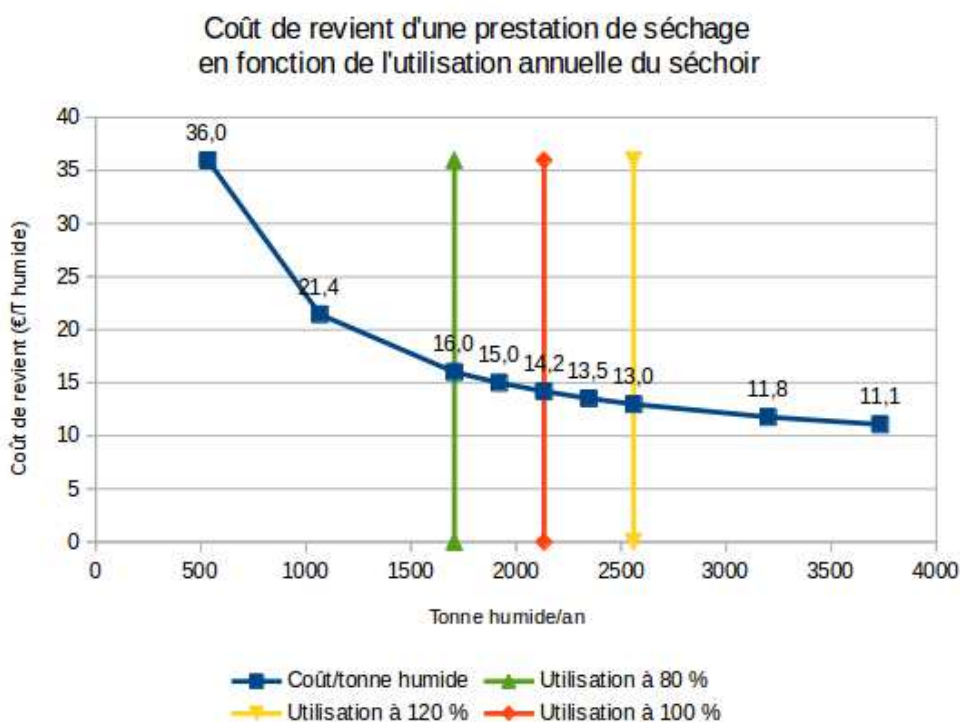
Si l'installation fonctionne à plein régime et consomme 1200kWhth/T d'eau évacuée, elle peut sécher 2100T de bois humide par an. Le tableau suivant présente le calcul du coût de revient pour un fonctionnement à plein régime du séchoir.

Investissement	70 000€	
Tonnage par an	2100T de bois /an	4 bennes tous les 4,5 jours
<b>Charges opérationnelles</b>	<b>18 291€</b>	
chaleur		
électricité	7 680€	0,12c€/kWh ; 8kW
entretien	3 500€	5 % de l'investissement
main d'œuvre	7 111€	1h de travail par benne (manitou)
<b>Charges de structure</b>	<b>11978€</b>	
Amortissement	5 833€	Sur 15 ans
Frais financiers	5 795€	Sur 15 ans
Assurance	350€	0,5 % de l'investissement
<b>Total</b>	<b>30 270€</b>	
<b>Coût de revient</b>	<b>14,2€/T de bois humide</b>	

Dans cet exemple, le prix de revient est de 14,2€/T de matière humide hors valorisation de la chaleur. On se trouve à la limite du tarif acceptable pour une prestation.

Pour cet exemple, le projet de séchage serait rentable pour une prestation vendue à 15€/T de bois humide pour un fonctionnement à plein régime. Dans ce cas, la chaleur n'a pas de valeur mais toutes les charges du séchoir sont couvertes et la prime à la valorisation de la chaleur revient entièrement à l'installation biogaz.

Le graphique suivant montre l'évolution du coût de revient en fonction de l'utilisation annuelle du séchoir.



Cette simulation montre que :

1/ le prix de revient de la prestation à la tonne augmente rapidement en cas de sous-utilisation du séchoir :

pour une utilisation à 80%, le coût de revient passe à 16€/T soit une augmentation de 12 % ;

pour une utilisation à 50 % de la capacité maximale, le coût de revient passe à 21,4€/T soit une augmentation de 33 %.

= > Le porteur de projet doit veiller à maximiser les tonnages séchés par an

2/ le prix de revient passe à 13€/T humide pour une installation de 120kWhth et 11,1€/T humide pour une installation de 175kWhth. Dans ce dernier cas, les recettes dégagées par la prestation de séchage sont équivalentes à une rémunération de la chaleur à 10€/Mwhth.

=> Au vu des économies d'échelle, les plus fortes puissances permettent de dégager des revenus plus conséquents. En dessous de 100kWhth disponible il est sans doute préférable de s'orienter vers des solutions de vente de chaleur.

### Comment maximiser le tonnage à l'année ?

L'unité de méthanisation fournit tout au long de l'année une chaleur constante. Quel que soit le remplissage du séchoir, la chaleur sera dissipée. Pour abaisser le coût de revient, l'objectif est de sécher un maximum de bois. Voici quelques pistes :

Éviter que la matière prenne l'eau avant d'entrer dans le séchoir (conditions de stockage amont) ;

Ne pas sécher au-delà de l'objectif de taux d'humidité fixé par le client ;

Optimiser le remplissage du séchoir ;

Récupérer si possible les calories en sortie de séchoir ;

Vérifier régulièrement que l'échangeur thermique n'est pas encrassé et que la cogénération fournit la chaleur prévue ;

Vérifier les performances thermiques du séchoir. Si les performances dépassent 1200kWhth/T d'eau évaporée, il est intéressant de rechercher l'origine des surconsommations.

Par ailleurs, la gestion de l'inter-cycle a aussi son importance. La chaleur étant disponible en permanence, le temps d'arrêt du séchoir et son refroidissement impliquent des pertes thermiques. Il est donc intéressant de travailler sur les phases de chargement/déchargement de façon à ce qu'elles soient les plus courtes possibles. Plusieurs pistes peuvent être étudiées :

- facilité de chargement/déchargement, espace de travail facilitant les manœuvres ;
- disponibilité du matériel de chargement ;
- trajet réduit vers les lieux de stockage ;
- timing de livraison permettant de travailler en continu, stock amont tampon si la matière le permet, stock aval en cas de besoin (attention néanmoins aux ruptures de charge qui augmentent le coût de revient),
- stock tampon d'eau chaude ?

### Impact du taux d'humidité en entrée

Le taux d'humidité de la matière en entrée du séchoir joue de façon importante sur la quantité de matière qui sera séchée. Dans notre exemple d'une installation de 100kWth, l'installation peut évaporer par an 670T d'eau. Le tableau suivant montre les quantités de bois qui peuvent être séchées par l'installation en fonction de l'humidité de la matière entrante et l'implication sur le prix de revient.

	Prix à la tonne humide de matière entrante		
Qualité du bois entrant	Bois ressuyé 35 % d'humidité en entrée	Bois intermédiaire 45 % d'humidité en entrée	Bois vert 55 % d'humidité en entrée
Tonnage max par an	3500T de bois brut	2100T de bois brut	1500T de bois brut
Tonne d'eau à évaporer	670T d'eau par an		
Fonctionnement du séchoir (hors chaleur)	6,5€/T	8,6€/T	10,6€/T
Location du séchoir	3,4€/T	5,6€/T	7,8€/T
Coût de revient à la tonne de bois brut	9,9€/T	14,2€/T	18,4€/T
Coût de revient à la tonne d'eau évaporée	52€/Tee		

Plus le bois est humide en entrée et plus il sera long à sécher. Un temps de séchage plus long génère un temps de location du séchoir plus long et des charges de fonctionnement plus important. Soit une augmentation du prix de revient à la tonne.

**Le porteur de projet doit être bien conscient que le coût de revient dépend du taux d'humidité de la matière entrante.** Le tarif de prestation peut être décliné à la tonne d'eau évaporée ou au temps de location du séchoir. Cela peut inciter le client à apporter du bois pas trop humide pour réduire le coût de la prestation.

L'exploitant devrait disposer d'un moyen d'évaluer l'humidité de la matière entrante ou de calculer les tonnes d'eau évacuée (ex : pont bascule, étuve maison, ...) et ainsi ajuster le prix de prestation.



### 3.4. Un exemple de séchage de plaquette de bois par une unité de méthanisation

Installation biogaz de 600kW électrique. Lancement du séchoir à bande sans engagement ferme de la part de partenaires.

Plusieurs propositions/essais ont été faits :

- Pour de la luzerne => gros problème d'odeur avec ce séchoir, ne sèche que 25T sur 250 T prévues au test => sans suite
- Pour du maïs => a priori il s'agissait d'un maïs ayant des problèmes de maturation et qu'il n'a pas réussi à sécher => prestation ponctuelle
- Pour des plastiques recyclés => en est resté au stade de la discussion commerciale
- Pour du bois plaquette => matière la plus concluante à ce jour, après une année de test, recherche la mise en place d'un contrat plus durable

Organisation de la prestation de séchage de plaquette :

- Sèche de la plaquette 95 % du temps
- Séchoir à bande en dépression de Almékia de 650kWth à 250 000€
- Plaque mobile de 10\*12m micro perforée, radiateur placé au-dessus, air chaud aspiré par dessous (21 000m<sup>3</sup>/h)
- Sèche 1 camion par jour (en entrée 30T à 45-50 % d'humidité (soit 90m<sup>3</sup>), 8T d'eau évaporée, 22T en sortie à 21-25 %)
- Camion pesé en entrée, coût de prestation à 15€/T de matière entrante. La prestation inclue le déchargement, le stockage amont, le séchage et le rechargement
- Trois types de plaquette sont séchés : plaquette brute issue du broyage, plaquette criblée, petite plaquette
- Intérêt du bois : pas de vide sanitaire, pas de nettoyage, seule précaution c'est le passage de la plaquette de grosse taille à la plaquette de petite taille

Suite à 9 mois de test, le méthaniseur cherche à contractualiser la prestation. D'après les premiers retours, les clients sont très satisfaits (puissance plus élevée pour la chaudière, réglage stable de la machine, moins d'encrassement - mâchefer, cendres).

Projet : l'air est encore chaud en sortie de séchoir. Le méthaniseur pense récupérer cette chaleur résiduaire pour sécher des bûches en caisson empirol.

## 4. Séchage de maïs grain

Le séchage de maïs est une activité ponctuelle (octobre) et très consommatrice en énergie (grosse quantité sur une courte période). Dans quelles conditions est-il pertinent de sécher du maïs en utilisant la chaleur d'une installation biogaz ?

### 4.1. Quelle opportunité pour le séchage de maïs en Bourgogne ?

#### a) La production de maïs grain en Bourgogne

La culture de maïs grain représente 7 % de la SAU en Bourgogne (2014). Cette surface est à la hausse depuis quelques années car la mise en place de maïs en tête de rotation est un moyen de lutter contre le salissement des parcelles. Ainsi, la surface totale de maïs grain est passée de 44 000ha en 2010 (agreste) à 56 000ha en 2012 (agreste).

Cette culture est présente pour 13 % des exploitations (agreste 2010). La surface moyenne de maïs grain sur les exploitations qui en produisent est de 17ha.

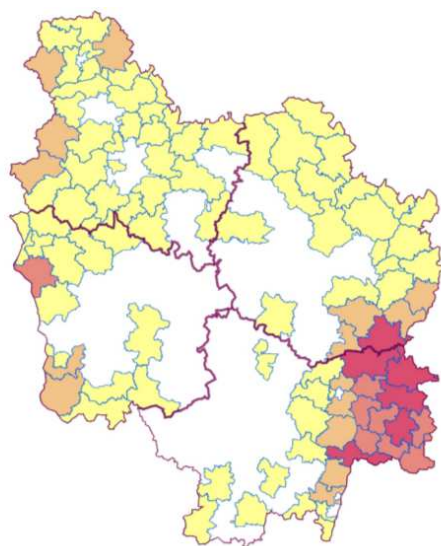
Le rendement moyen est de 92qtx/ha (Source Arvalis – moyenne 2004 à 2012).

Le taux d'humidité moyen du maïs à la récolte est de 25 %- 30 %.

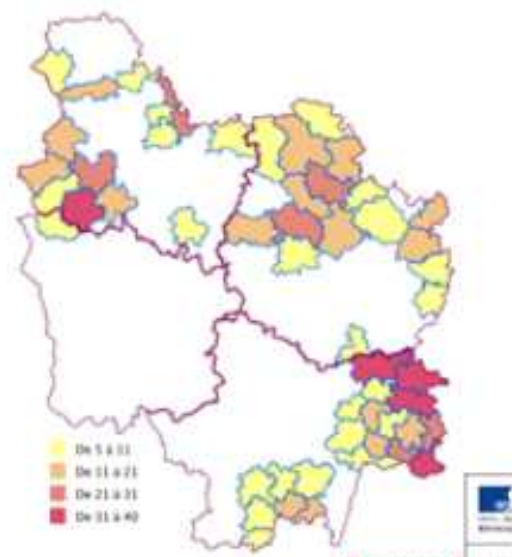
La période de récolte s'étale sur 6 semaines (début octobre – mi novembre).

La culture du maïs est surtout présente sur les bords du massif du Morvan et quasiment absente dans le Morvan.

Localisation par canton des surfaces  
de maïs grain (2010?)



Localisation par canton des exploitations  
laitières



Les agriculteurs livrent le maïs grain à leur silo local puis le maïs est acheminé sur un silo de séchage. Les agriculteurs paient une prestation de séchage pour leur maïs ainsi que le coût du transport.

La prestation de séchage coûte entre 20€ et 30€/T de maïs sec (à 15 % d'humidité) en fonction du taux d'humidité du maïs avant séchage.

## b) Avantages et inconvénients du séchage de maïs à la ferme ?

Intérêt du séchage de maïs à la ferme	Limites ou précautions à prendre
Maîtriser le taux d'humidité du grain pour ne pas payer la prestation de séchage de la coopérative (20 à 30€/T pour le séchage plus le coût du transport).	Il est important de se former pour bien maîtriser le séchage et donc la qualité du grain => un grain de mauvaise qualité est vendu avec des pénalités Le choix du séchoir et la formation sont importantes pour la maîtrise de la qualité du grain.
Obtenir une meilleure rémunération pour la vente de l'électricité.	En supposant que toute la chaleur disponible est utilisée pour sécher du maïs sur 6 semaines, la chaleur consommée sur cette période représente 11 % de la chaleur disponible à l'année. L
Faciliter l'organisation des chantiers de récolte grâce à la souplesse obtenue vis à vis des conditions climatiques	Il est préférable d'implanter tôt pour récolter le grain à un faible taux d'humidité et le sécher lorsque la température de l'air est encore élevée (réduire la consommation d'énergie, faciliter le séchage). Adapter les variétés de maïs.  Le maïs doit être séché très rapidement après la récolte (le pré-stockage est à éviter pour obtenir une bonne qualité).  Le débit du séchoir conditionne le débit de récolte => vérifier l'adéquation entre le matériel de récolte et le débit du séchoir.  Il est préférable de nettoyer le maïs avant séchage pour réduire la consommation de chaleur et faciliter le séchage => cette précaution est importante surtout pour le stockage à plat sans brassage du maïs.
Stocker à la ferme et vendre lorsque le prix du marché est intéressant.	Disposer de capacité de stockage ventilé

## 4.2. Faisabilité technique?

### a) **Gérer la qualité du séchage**

La qualité du séchage est un élément important pour le maïs surtout en cas de vente du maïs. En effet, la plupart des utilisateurs ont un cahier de charges strictes. Si le maïs est séché de façon hétérogène, que le taux final d'humidité est incorrect, que le grain se casse trop facilement, ... cela se traduit par des pénalités, des pertes de matière ou des pertes de débouchés.

Objectif du séchage	Risque	Exemple d'action
Atteindre et maintenir une température de séchage de 55°C min quel que soit la température extérieure	Germination	Moyen et protocole de contrôle de la température Dimensionnement adapté à la puissance disponible
Atteindre précisément 15 % d'humidité	Pénalité financière à la vente Perte de débouché, déclassement	Moyen et protocole de contrôle de l'humidité du grain Formation sur l'échantillonnage et l'utilisation des sondes Séchoir ne générant pas de séchage par couche
Séchage homogène du grain. - éviter d'obtenir une couche supérieure à 18 % d'humidité, couche inférieure à 11 % - éviter les circuits préférentiels de l'air -éviter la prise en masse du maïs	Pénalité financière à la vente Perte de débouché, déclassement	Moyen de brassage du tas : ex manitou, gaine de ventilation, cellule de ventilation forcée post séchoir.  Nettoyage du grain en amont
Consommation d'énergie acceptable	Prix de revient de la prestation excessif (surconsommation d'énergie, temps de location du séchage plus long)	Garantir 1200kWh/Tonne d'eau à évaporer maximum. Pour les séchoirs à plat compter plutôt 1500kWh/tonne d'eau évaporée

A dire d'expert, il semble que le séchage à plat ou en benne soit difficile à maîtriser pour le maïs grain et plus consommateur en énergie. D'autres graines ayant un plus faible taux d'humidité à la récolte (blé, tournesol, ...) seraient plus adaptées pour ce type de séchage. Pour le maïs grain en grosse quantité, il serait sans doute plus pertinent d'avoir recours à des séchoirs spécifiques. Les séchoirs spécifiques disponibles sur le marché demandent une puissance thermique d'au moins 200-300kW. Pour des puissances inférieures, il est possible de préchauffer l'air avec la cogénération et de compléter avec un brûleur classique.

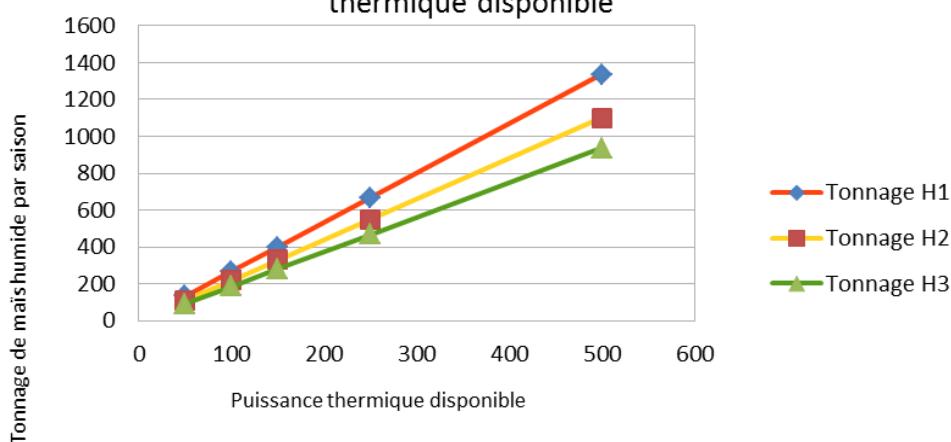
## b) Quel volume de maïs est-il possible de sécher ?

Le graphique suivant montre la quantité de maïs qui peut être séchée en fonction de la puissance thermique disponible. Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

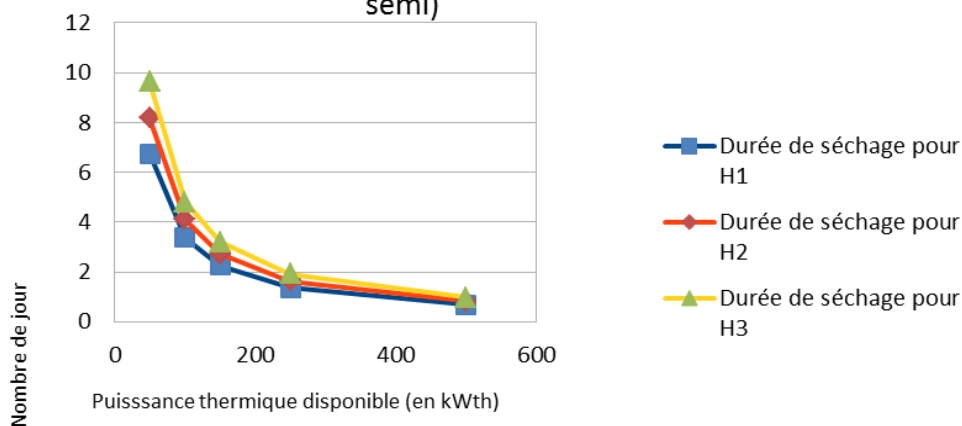
- besoin d'énergie pour évacuer une tonne d'eau : **1,5kWth/kg d'eau**
- **situation de récolte non limitante** (le séchoir peut être alimenté dès qu'un cycle est terminé)
- maïs récolté entre 29 % et 35 % d'humidité (H1 = 29 %, H2 = 32 % et H3 = 35 %)
- saison de sèche de **6 semaines de 7 jours**, 22h sur 24h (hypothèse de fonctionnement de la cogénération à l'année)

Les installations de 200kWth peuvent sécher 500T de maïs humide (32%) par saison et accepter 1 semi tous les 2 jours. Les installations de 500kWth peuvent sécher 1100T (32%) de maïs humide par saison et accepter 1 semi par jour.

Capacité de séchage de maïs en fonction de la puissance thermique disponible



Temps nécessaire pour sécher 30T de maïs humide (1 semi)



## Quel volume de maïs disponible ?

La surface moyenne par exploitation est de 17ha en Bourgogne (pour les exploitations qui en produisent) soit 150T par exploitation. Par ailleurs, les exploitations agricoles qui mettent en place une installation biogaz en Bourgogne sont principalement des exploitations d'élevage bovin. Ces exploitations produisent de l'ensilage de maïs pour alimenter leur troupeau. En cas de déficit en substrat pour alimenter le digesteur, le maïs ensilage peut constituer une réserve tampon. La mise en place d'une installation biogaz peut conduire à augmenter les surfaces de maïs ensilage au détriment du maïs grain.

En travaillant sur des données moyennes pour la région (150T de maïs grain par exploitation), le tonnage est faible. En théorie, une puissance thermique de 50kWth serait suffisante.

Exploitation moyenne		17ha/an à 92qtx/ha => 150T de maïs /an => besoin 50kWth (théorie)
Exploitation avec méthanisation		Production de maïs grain ou ensilage de maïs (stock tampon pour le digesteur) => 0T/an ?
D'après équipementiers séchoirs	les en	500T minimum de maïs pour rentabiliser un séchoir spécifique, 200 à 300kWth minimum pour être autonome en énergie

### 4.3. Faisabilité économique

Le séchage de maïs n'a lieu au mieux que 6 semaines dans l'année. Cela représente environ 11 % de la chaleur disponible sur l'année.

En fonction du contexte les exploitants peuvent investir soit dans un séchoir spécifique maïs soit sécher du maïs dans un séchoir polyvalent qui peut servir à d'autres usages le reste de l'année.

#### a) Mettre en place un séchoir spécifique maïs

Voir exemple de réalisation au chapitre 4.4

La mise en place d'un séchoir spécifique maïs peut s'envisager si la puissance thermique disponible est supérieure à 250kWth. Dans ce cas, les économies réalisées sur la prestation de séchage à la coopérative permettent de rentabiliser l'investissement. Pour des puissances plus faibles, les volumes séchés sont trop faibles pour compenser l'investissement.

#### b) Opportunité d'alterner les matières dans un séchoir polyvalent?

Le tableau suivant propose de comparer le revenu issu du séchage de bois par rapport à celui du séchage de maïs pour estimer l'intérêt d'alterner les matières au sein du séchoir.

	Maïs	Bois
Revenu	20 à 30€/T de maïs sec - économie sur la prestation de séchage par la coop	15€/Tonne de bois à 45 %
Exemple pour une installation de 150kWth 6 semaines de séchage	200T de maïs humide, soit 165T de maïs sec  Revenu : 4200€	115T de bois humide  Revenu : 1700€
Charges	On suppose que les charges sont équivalentes (même conso d'énergie, même durée d'utilisation du séchoir – 6 semaines, la main d'œuvre peut éventuellement être différente)	

Le tonnage de maïs séché est plus important et le revenu est plus élevé à la tonne. A priori, il est plus avantageux d'alterner les matières au moment de la récolte du maïs mais attention :

- le séchoir doit être adapté
- vide sanitaire à réaliser
- formation pour contrôler la qualité du séchage du maïs

#### 4.4. Exemple de réalisation – séchage de maïs

##### a) Présentation de l'installation

Présentation du GAEC :

- 100 vaches allaitantes
- 120 truies et 2600 porcs
- 10 000 volailles vendues par an
- 222ha de céréales et 200ha de prairies

Installation biogaz de 210kWth dont la chaleur est utilisée de la façon suivante :

- Porcherie et poulaillers
- Eau chaude pour l'atelier boucherie et 2 habitations
- Séchoir à céréales

##### b) Bilan thermique

La puissance de l'échangeur thermique est de 150kWth. Durant la période de séchage du maïs qui s'étend de fin septembre à début novembre, la priorité d'usage de la chaleur est mise sur le séchoir à céréales.

Retour d'expérience sur le séchage de maïs	
Période de séchage	Fin septembre à début novembre
Type de matière séchée	Maïs grain
Tonnage séché par an	200 à 250T de maïs sec (à 15 % d'humidité) soit 250 à 310 T de maïs humide (à 32 % d'humidité)
Humidité en entrée	30 à 35 % Voir 37 % maïs à cette humidité le maïs sèche mal : difficulté de brassage, prise en masse du grain, ...
Humidité en sortie	15 %
Nombre de cycle par an	3 à 4 cycles par an
Tonnage par cycle	70 à 80T de maïs humide soit 8 à 10ha Le tonnage varie en fonction du taux d'humidité. Plus l'humidité est élevée moins le silo est rempli
Quantité d'eau à évaporer	Soit 16Tonnes d'eau évaporée par cycle
Durée moyenne de séchage par lot	10 à 12 jours de séchage Compter 1 journée de chargement et 1 journée pour le déchargement
Consommation en thermie	150kWth pendant 10 jours à 24heures/jour soit 36000kWth
Performances	2250kWth/Tonne d'eau évaporée => vérifier les performances thermique de l'échangeur et la disponibilité réelle en énergie
Préparation en amont	Le maïs n'est pas stocké en amont Le maïs est nettoyé avant le séchage
Stockage aval	Le maïs est refroidit dans le séchoir grâce au ventilateur. Le maïs est stocké en silo ventilé (pré-existant) après le séchage

### c) Retour d'expérience de l'agriculteur

#### Amélioration de la récupération effective de chaleur

A l'installation du séchoir, le réseau de chaleur n'était équipé que d'une seule pompe de circulation pour l'ensemble du réseau de chaleur. A l'usage, l'agriculteur s'est aperçu que la puissance de son échangeur était inférieure à la valeur annoncée. Pour remédier à ce problème, il a fait installer une pompe au niveau de l'échangeur thermique. Il a ainsi gagné 20 à 30kW de puissance thermique. Cette pompe lui permet de mieux réguler la priorité d'usage de la chaleur au sein de son réseau de chaleur.

#### Qualité du séchage

L'agriculteur a été aidé à la mise en route par son constructeur. Le suivi consiste à suivre tous les jours le taux d'humidité. La phase délicate est le démarrage (les 2 premiers jours, lorsque le grain est encore très humide) car le brassage est difficile et le maïs risque de prendre en masse. A l'usage, l'agriculteur sait quelle quantité de maïs il doit introduire dans le séchoir en fonction du taux d'humidité (50T pour 37 % d'humidité ; 70T pour 35 % et 80T pour 30 % d'humidité).

Depuis la mise en place d'un nettoyeur de grain la qualité et la performance du séchage sont améliorées :

- le séchage est plus rapide : gain de 1 jour sur le temps de séchage (l'absence d'impureté facilite la circulation de l'air)
- le brassage est plus simple : gain probable en électricité

#### Autres utilisation du séchoir

Le séchoir est aussi utilisé pour d'autres graines :

- 40T de soja mi-septembre (passage de 20 % à 14 % d'humidité).
- 40T de blé en juillet (passage de 16 % à 14 % d'humidité). Occasionnel en cas de besoin.

Par contre l'agriculteur ne réalise pas de prestation pour des tiers.

#### Projet

L'agriculteur est satisfait de son séchoir. Il construit actuellement une deuxième installation biogaz. Dans le cadre de son nouveau projet, il construira un séchoir à plat pour sécher du bois déchiqueté. Il préfère opter pour un séchoir à plat car ce type de séchoir est plus polyvalent.



## d) Bilan économique

<b>Investissement</b>	59 000€	40 000€ cellule de séchage Jamase de 6m de diamètre 5 000€ manutention 9 000€ échangeur thermique 5 000€ ventilateur non pris en compte : 10 000€ nettoyeur de grain (50T/h) => ne sert pas que pour le maïs, 0€ réseau de chaleur (inclus dans l'unité de méthanisation) et cellule de post stockage
<b>Charges opérationnelles - 1921€</b>		
Energie thermique	0€/an	
Energie électrique	691€/an	ventilateur 7kW, brasseur du séchoir, pompe réseau de chaleur
Entretien	590€/an	Estimé à 1 % des équipements (hors génie civil et bâtiment)
Main d'œuvre	640€/an	4h par cycle
<b>Charge fixe</b>	<b>9 669€</b>	
Amortissement	4 912€	Pour les équipements techniques : 12 ans
Frais financier	4 457,00 €	3,5 % sur 12 ans (30 % de subvention à l'investissement)
Assurance	300€	0,5% de l'investissement par an
<b>Recettes</b>		
Economie sur la prestation séchage	9500€	30€/T de maïs pour le séchage 8€/T de maïs pour le transport, manutention 250T par an
<b>Total</b>	<b>11 257€</b>	
EBE	7806€/an	
TRB	7 ans	
<b>Prime V</b>		
Prime V	7300€	Part de la prime qui est imputable au séchoir (11%)

Dans la situation actuelle, l'activité de séchage est déficitaire. Une partie de la prime à la valorisation de l'énergie est nécessaire pour équilibrer le budget.

Néanmoins, des points d'amélioration sont possibles :

- Le résultat net s'équilibre pour une performance du séchoir ramenée à 1600kWhth/tonne d'eau évaporée (ce qui est encore élevé en regard des performances habituelles sur ce type de séchoir).
- Une meilleure performance du séchoir revient à sécher plus vite la même quantité de matière, ce qui permet de réaliser un cycle de plus dans le même temps. Le résultat net devient positif pour une performance du séchoir ramenée à 1600kWhth/tonne d'eau évaporé et pour 1 cycle de plus (soit 64T de maïs sec en plus par an).
- Une performance ramenée à 1200kWhth/Tee permettrait de faire 2 cycle de plus par an. Dans ce cas, la recette générée par an est équivalente à une vente de l'énergie thermique à 25€/MWhth

Dans la situation actuelle, l'agriculteur sèche la totalité du maïs produit, pour sécher plus il serait nécessaire de proposer une prestation de service à un tiers.

## 5. Séchage de fourrage

### 5.1. Opportunité pour le séchage de fourrage

#### a) Contexte en Bourgogne

La région Bourgogne est dominée par la production de viande herbivore.

La production de viande herbivore est présente dans 44 % des exploitations, celles-ci cultivent 57 % de la SAU et mobilisent 36 % des UTA (Observatoire des exploitations en Bourgogne – 2014). 26 % de la SAU est toujours en herbe (2012).

Les céréaliers représentent 14 % des exploitations. Le système bovin lait est peu présent - 8% des exploitations.

#### b) Intérêt général du séchage

Le séchage de fourrage à la ferme présente un certain nombre d'avantage :

- réduire la dépendance aux conditions climatiques
- augmenter la qualité du fourrages (récolte à un stade précoce, gagne en appétence, améliore la valeur fourragère)
- augmenter les quantités de fourrage en réduisant les pertes à la récolte (le fourrage est ramassé encore humide, les feuilles sont moins cassantes ce qui génère moins de pertes au champ)
- améliorer la qualité des prairies : fauches précoces et multiples d'où un développement des légumineuses et graminées à feuille large au détriment des plantes indésirables

Cependant, le séchage à la ferme modifie la façon de récolter le fourrage et demande de travailler en amont sur la gestion des prairies pour en tirer la meilleure partie.

Du fait de cette augmentation en qualité et en quantité, la mise en place d'un séchage de fourrage réduit le coût d'achat des concentrés et de l'alimentation extérieure à l'exploitation. Cependant le coût d'un séchoir en grange n'est qu'en parti compensé par le gain sur l'achat d'aliment. Il est souvent nécessaire d'avoir une bonne valorisation du lait pour s'y retrouver économiquement.

Ainsi, le séchage en grange s'est développé principalement dans des zones ayant un label de qualité (ex : Jura, Savoie). Grâce à ce label, la valeur ajoutée du lait augmente. A titre d'exemple, voici le prix du lait pour différentes productions. Le prix du lait en Bourgogne se situe dans la moyenne nationale.

Type de lait	Prix moyen (€/100l)	Sources
AOC Comté	45	DRAAF Franche Comté mai 2014
Jura mais hors AOC Comté	36	DRAAF Franche Comté mai 2014
Lait de chèvre	56	Moyenne nationale 2013
Lait bio	40	Moyenne nationale 2013
Lait en Bourgogne	De 33 à 35,8	DRAAF Bourgogne moyenne 2013
Prix moyen du lait en France	De 29 à 38 (sur 2013 et 2015)	Web-agri observatoire du lait

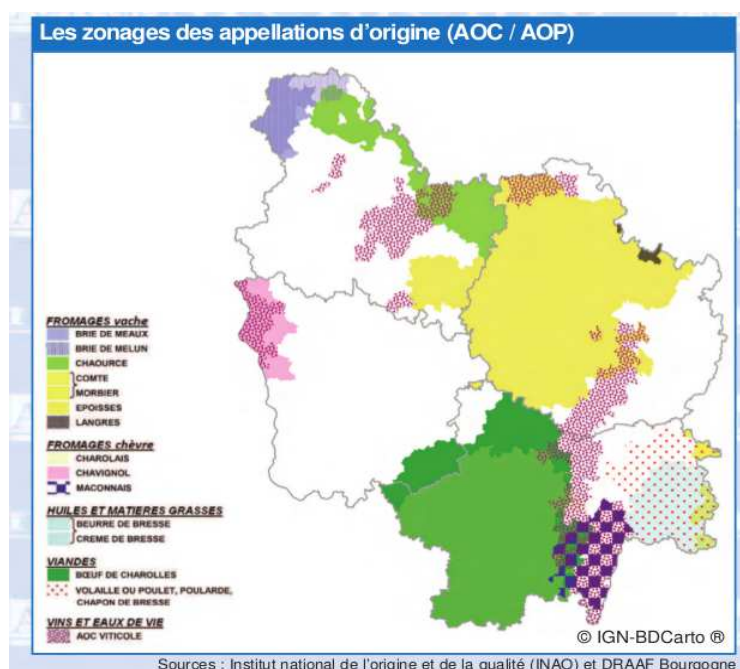
Néanmoins, D'après Yann Charrier, le séchage à la grange se développe actuellement sur les élevages les plus intensifs notamment en Bretagne.

### c) Séchage pour les exploitations avec des bovins lait

Quelques freins existent en Bourgogne pour la mise en place d'un séchage à la ferme de fourrage.

- Les exploitations disposent d'équipement adapté pour la récolte de grosse quantité et non pour aller régulièrement chercher du foin.
- les conditions climatiques ne présentent pas de difficultés particulières qui limiteraient la récolte au printemps.
- le prix du lait en Bourgogne correspond à la moyenne nationale.
- les labels de qualité en Bourgogne pour la production de produit laitier n'interdisent pas l'usage d'ensilage.
- la PAC n'incite pas à dédier des surfaces à la prairie sauf gros changement de stratégie non réversible.
- le prix des céréales est intéressant en ce moment et ne pousse pas les éleveurs vers de la prairie.
- La disparition des quotas laitiers incite à une augmentation des effectifs et des volumes produits. Cette augmentation est plus facile à réaliser sur une base maïs que sur une base herbe car la culture de maïs est plus facile à maîtriser, demande moins de charge de travail et la ration maïs est plus facile à gérer.

Sur les élevages laitiers la mise en place de séchage « n'est pas dans l'air du temps » en Bourgogne mais peut ponctuellement être une solution pertinente. En Bourgogne, quelques zones bénéficient d'un label pour les productions laitières, c'est sans doute dans ces zones que la mise en place de séchage à la ferme serait plus favorable.



La Bourgogne est peu équipée en séchoir de fourrage à la ferme. Deux séchoirs fonctionnent un récent sur le GAEC des Marronniers et un ancien à l'Abbaye de Cîteaux. Le GAEC des Marronniers a investi récemment dans un séchoir en grange, il est passé à un système tout herbe pour améliorer la qualité de ses fromages d'époisses qu'il vend en direct. On peut noter que dans d'autres régions, des séchoirs de fourrage ont pu se développer sur des filières de niche à haute valeur ajoutée telle que : des yaourts de haute qualité sur un marché de niche en restauration, la vente de fourrage de qualité pour des chevaux et animaux domestiques avec une filière de conditionnement en petit contenant, ...

La mise en place d'un séchoir peut aussi s'envisager dans le cas où l'éleveur doit réinvestir dans ses silos de stockage (ensilage herbe et/ou maïs). Dans ce cas, il peut être intéressant de comparer le coût d'investissement dans un séchoir en grange avec le coût d'investissement pour rénover les silos.

#### **d) Intérêts du séchage pour les allaitants ?**

Actuellement, la filière allaitante est en difficulté (Source INRA : filière bovine et ovine allaitante).

Les systèmes bovins allaitants sont fragilisés par différents facteurs :

- prix des matières premières végétales à la hausse
- changement climatique qui rend les récoltes plus aléatoires (piste – diversifié les sources de fourrages, ...)
- controverse sur la consommation de viande (émission de GES et faible efficacité de la transformation en protéines)
- crise financière qui induit une réduction de la consommation de viande. Constat à nuancer avec la demande mondiale à la hausse.
- prix de vente de la viande à la baisse malgré les gains de productivité
- système très dépendant des aides publiques (plus de 120 % du résultat courant)

Sur les élevages allaitants, la solution de séchage de fourrage n'est pas mise en avant par les conseillers car les coûts engendrés ne seraient pas compensés économiquement.

## **5.2. Faisabilité technique**

Deux principaux systèmes de séchage de fourrage existent : le séchage en vrac en grange et le séchage en botte.

#### **a) Le séchage en vrac**

Habituellement, le séchage en grange fonctionne grâce à une toiture solaire. L'air est réchauffé sous la toiture puis envoyé au moyen d'un ventilateur dans les silos de séchage. Les silos sont alimentés progressivement en foin humide. Le fourrage sec reste dans les silos de séchage et il est distribué tout au long de l'année généralement au moyen d'une griffe.

Le couplage avec une unité de méthanisation à plusieurs avantages :

- apporter une quantité d'énergie supplémentaire par rapport à la toiture solaire ce qui permet d'augmenter les tonnages,
- apporter de l'énergie en intersaison (printemps et automne) lorsque l'énergie solaire décline ce qui permet d'allonger la saison de chauffe et améliorer le séchage de la première et dernière coupe.

Par contre, les silos étant en permanence occupés par du fourrage, il est nécessaire de prévoir un ou des silos supplémentaires si l'exploitant souhaite sécher d'autres matières le reste de l'année.

Plusieurs agriculteurs méthaniseurs ont mis en place un séchoir en grange couplé avec une unité de méthanisation. Quelques sites peuvent être cités en exemple : GAEC Phillipoteaux - Ardennes, Gaec Croisilles - Calvados, Biorecycle – Meurthe et Moselle, GAEC de l'Aurore - Jura, installation collective de Lescheroux - Ain, ... Pour certains sites, des données sont disponibles sur la puissance thermique disponible ainsi que sur la surface de la toiture solaire.

Pour plus de détail technique sur le séchage en grange voir la documentation du segrafo et l'étude ADEME 2011 « Utilisation rationnelle de l'énergie pour le séchage des grains et des fourrages »

### b) Le séchage en botte

Une autre technique de séchage est proposée par les équipementiers : le séchage en botte. Différentes solutions techniques existent en fonction des équipementiers (Lasco, ClimAir, Agricomact technologie...). Le principe général est de placer les bottes de foin dans un flux d'air chaud. Pour la bonne réussite du séchage plusieurs points sont à respecter :

- un préfanage aux champs pour atteindre environ 35-45 % d'humidité sur brut
- un pressage homogène pour permettre à l'air de circuler régulièrement dans la botte : c'est l'étape la plus difficile car elle dépend de plusieurs facteurs comme la formation des andains, l'humidité du fourrage, la coupe, ... et nécessite un savoir faire
- un séchage dans les 12 heures pour éviter la fermentation du fourrage

Par ailleurs, la mise en place d'un séchoir en botte modifie l'organisation de la récolte de fourrage. Le tableau suivant permet de comparer les 2 systèmes.

	Sans séchoir	Avec séchoir en bottes
Surface de travail	Le travail s'effectue sur de grande surface, c'est le débit du matériel agricole qui limite le débit de chantier de récolte du fourrage	Le travail s'effectue sur de petite surface, c'est le débit du séchoir qui limite le débit du chantier de récolte du fourrage  Exemple : - un séchoir de 12 trous peut sécher au maximum 48 bottes en 24 heures. - l'agriculteur récolte 12 bottes par ha donc il peut récolter 4ha par jour - pour une sole de 20ha, il est nécessaire de constituer 5 lots de 4 ha
Souplesse de travail	Nécessité d'une fenêtre météo de 4 à 5 jours minimum.  Le ramassage des bottes est différé.	Nécessité d'une fenêtre météo de 2 à 3 jours minimum. En début et en fin de saison, il est plus facile de trouver une fenêtre météo.  Le ramassage des bottes a lieu le jour du pressage car le foin encore humide doit être séché dans les 12 heures pour ne pas fermenter.
Temps de travail	Deux fanages	Un seul fanage Chargement et déchargement supplémentaire pour le séchoir.
Calendrier de travail	Pic de travail	Le travail s'étale sur une période plus longue en fonction de la météo. Le travail débute plutôt dans la saison.
Organisation des étapes de travail	Les étapes se succèdent, on termine une étape avant de passer à la suivante. Idéalement, chaque équipement sort 1 fois.	Les étapes se chevauchent. Chaque équipement sort plusieurs fois pour aller chercher de petites quantités.

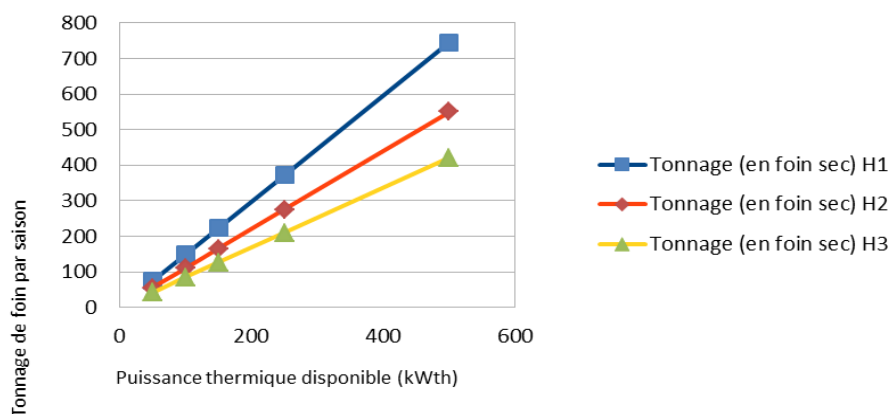
**c) Quelle quantité de fourrage peut être séchée ?**

Le graphique suivant montre la quantité de fourrage qu'il est possible de sécher en fonction de la puissance disponible. Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- bottes de foin de **200kg sec et 18 bottes/ha de coupe**
- besoin d'énergie pour évacuer une tonne d'eau : 1,2kWth/kg d'eau
- pas de toiture solaire
- saison de sèche : **20jours par an en utilisation 24h sur 24h (10 jours en mai et 10 jours en septembre)**
- foin pré-séché aux champs entre 35 et 40 % d'humidité
- **cadence de séchage : 2 cycles par 24h, chaque trou étant utilisé par 2 bottes**

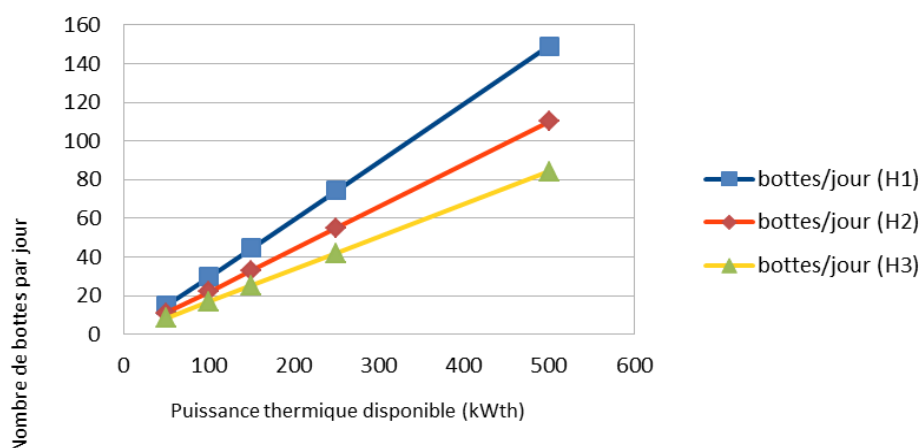
Les installations de 100kWth peuvent sécher 110T de foin humide (40%) par an soit 550bottes de 200kg (sec) par an. Les installations de 500kWth peuvent sécher 550T de foin humide (40%) par an soit 2750bottes de 200kg (sec) par an.

Séchage de fourrage en bottes



Pour le séchage de botte de foin, la capacité de séchage va du simple au double en fonction de l'humidité d'entrée (35 % ou 45%). Le pré-fanage au champ joue un rôle important.

Séchage de fourrage en bottes



avec les humidités en entrée du fourrage : H1 = 35 %, H2 = 40 % et H3 = 45 %

Pour un projet de ce type, il est important de vérifier l'adéquation entre le besoin en tonne de foin sec et la quantité de foin qu'il est possible de sécher par saison. Si la puissance thermique est insuffisante il est possible d'utiliser de la chaleur d'appoint (solaire, bois, bruleur).

### 5.3. Exemple de réalisation – séchage de fourrage en bottes

Mode d'utilisation de la chaleur - Séchage de fourrage en botte

Nom – GAEC des Baillys

Commune : Saint Fargeau (89 170) en Bourgogne

#### a) **Présentation de l'exploitation**

SAU : 378 ha

Production végétale : 300 ha

Production animale : 120 vaches laitières

#### b) **Présentation de l'unité de méthanisation**

Puissance installée – 190kWe à 38 % de rendement électrique

Maître d'ouvrage – GAEC du Baillys

Constructeur – AEB Méthafrance

Partenaires financiers – ADEME et FEDER

Date de mise en service – 18 décembre 2012

Régime ICPE - Déclaration

Données économiques sur l'unité de méthanisation

Investissement : 1 700 000 € dont séchoir 70 000€ (5%)

Subventions : 462 000 € soit 27%

#### c) **Présentation de l'utilisation de la chaleur**

Puissance thermique disponible : 210kWth

Les différents modes d'utilisation de la chaleur sont :

- Chauffage du digesteur (30% de la chaleur disponible)
- Élevage bovin : eau chaude du robot de traite
- Réseau de chaleur local : chauffage de 3 maisons, chauffage du bureau de l'exploitation et de l'eau chaude sanitaire
- Séchoir de fourrage en bottes

L'unité de méthanisation atteint un  $V = 70\%$  pour ces différents usages

Données techniques sur le séchoir

- Équipementier – Clim'air 50
- Type de séchoir – séchoir 24 bottes de 70cm<sup>2</sup> ou bottes carrées (flexibilité)
- Mode de diffusion de la chaleur : flux d'air chaud envoyé dans 12 trous où l'on pose 2 bottes empilées l'une sur l'autre. L'air est soufflé par le haut et par le bas.
- Chaleur de secours : brûleur fuel installé d'office mais non utilisé à ce jour
- Chaleur complémentaire : pas de récupération de chaleur solaire

d) **Bilan technique sur 2 campagnes de séchage**

**Bilan thermique**

Retour des campagnes 2013 et 2014		
Nbre de jours de séchage effectif	21 à 28 jours pour 3 coupes (mai, juin et septembre)	
Type de matière séchée	Foin en botte	
Tonnage de foin séché par an	500 bottes de 350kg à 15 % d'humidité soit 150T de foin par an (à 15 % d'humidité)	
Coupe	Première coupe	Deuxième et troisième coupe
Humidité en entrée	45 %	30 %
Humidité en sortie	15 %	15 %
Nbre de botte par 24 heures	12 bottes	48 bottes
Tonnage par 24 heures	3,6 T de foin à 15 % d'humidité 5,6 T de foin à 45 % d'humidité	14,4 T de foin à 15 % d'humidité 17,5 T de foin à 35 % d'humidité
Quantité d'eau à évaporer par 24 heures	1,9Tee (tonne d'eau évaporée)	3,1Tee (tonne d'eau évaporée)
Durée moyenne de séchage par lot	La durée est différente entre le séchage de jour et de nuit. En effet, le jour l'humidité de l'air est inférieure et la température est supérieure ce qui augmente la capacité d'absorption de l'eau par l'air. - cycle de 12h la nuit - cycle de 6h le jour	
Consommation de thermie en 24h	150kWth pendant 24 heures soit 3600kWth	
Consommation par tonne d'eau évaporée	1830kWth/Tee  Il est plus difficile de sécher le foin humide de première coupe	1160kWth/Tee  Le séchoir est placé sur une surface goudronnée ce qui contribue à chauffer l'air en plus de la méthanisation.
Stockage amont	Pas de stockage amont, le foin doit être séché impérativement dans les 12h pour ne pas fermenter 24 bottes sont séchées le soir après pressage et 24 bottes sont séchées le matin après 12heures d'attente sur la remorque, en deuxième et troisième coupe, l'exploitant récolte 48 bottes par jour.	



## Retour d'expérience sur l'utilisation du séchoir

### L'étape délicate c'est le pressage :

- Le pressage ne doit pas être trop fort sinon le fourrage est trop tassé et l'air ne passe pas. C'est un savoir-faire à acquérir « on doit pouvoir passer la main ».
- le pressage est différent en fonction de la coupe, si on récolte « plus vert, le fourrage se tasse plus, le pressage doit être adapté ».

### Le séchage en première coupe n'est pas toujours possible :

Le séchage de la première coupe est difficile. Le type de plante, la quantité d'eau à évaporer, la composition de la matière, ... rend l'utilisation du séchoir difficile. Il est envisageable quand le séchage au sol est suffisant sinon le foin est enrubbé.

### Le séchage des bottes doit avoir lieu dans les 12 heures :

Il est impératif de sécher les bottes dans les 12h pour éviter la fermentation du fourrage et la perte de qualité.

### Main d'œuvre :

- Entretien : nettoyage de l'échangeur 1 fois par an (précaution : le séchoir est installé sur une surface goudronnée maintenue propre après les étapes de chargement/déchargement pour éviter un encrassement par la poussière)
- Chargement/déchargement : 15 min au chargement et au déchargement => soit 30 heures de travail par cycle et 1 heure de travail par jour

### L'emplacement du séchoir (entrée de ferme, proximité du hangar) et la facilité de circulation autour permettent de simplifier le travail

Le séchoir est placé sur un grand espace goudronné ce qui permet :

- un accès par les 2 côtés d'où un gain de temps lors des chargement/déchargement
- le grand dégagement autour du séchoir facilite les manœuvres
- l'air ambiant est pré-chauffé par la surface goudronnée ce qui permet de gagner des thermies (goudron, sol noir)

### Bilan de l'exploitant sur son séchoir

- Les pertes de fourrage sont moindres lors du pressage car les feuilles sont encore humides donc moins cassantes.
- L'exploitant obtient globalement une qualité de foin meilleur car il est récolté au bon moment. Il n'a pas noté de réduction sur la consommation d'aliment.
- Le séchoir vient s'ajouter aux autres modes de conservation du foin existant sur le site : enrubbage et séchage naturel. L'exploitant a le choix entre différentes options pour la gestion du fourrage d'où une gestion optimisée de la récolte du fourrage. Ce qui sécurise l'alimentation du troupeau. Actuellement, l'exploitant récolte :
  - 150 T de foin séché : tout le foin est séché au séchoir sauf conditions météo particulières
  - 480 T d'ensilage brut par an
- Si les conditions météo sont très bonnes, le foin est récolté de façon classique car les débits de chantier sont plus importants. Néanmoins, la majeure partie du foin est séché artificiellement.
- Si la météo est difficile, le séchoir permet d'obtenir quand même une bonne qualité de fourrage



## Bilan économique

<b>Investissement</b>	70 000€	
<b>Charges opérationnelles</b>		
Énergie thermique	0€/an	
Énergie électrique	634€/an	120€/Mwhe 21 jours * 11kWhe * 24heures soit 7MWhe
Entretien	700€/an	Estimé à 1 % du montant des équipements
Manitou et main d'œuvre	800€/an	40€/heure 1 heure par jour de fonctionnement * 21 jours
<b>Charge fixe</b>		
Amortissement	4670€	Pour les équipements techniques : 15 ans
Frais financier	4560€	3,5 % sur 15 ans
Assurance	350€	0,5% de l'investissement
<b>Recettes</b>		
Aliment	Non chiffré	Gain en valeur fourragère - Économie d'aliment ? L'agriculteur n'a pas observé de réduction des quantités d'aliment mais l'appétence est exceptionnelle. L'agriculteur n'a pas chiffrée l'augmentation des rendements ha par une moindre perte au champ ?
<b>Total</b>		
Total des charges opérationnelles	2134€/ an 17€/TMS	150T de foin sec/an – 128T de MS/an
Total des charges de structures	9575€/an 75€/TMS	A titre indicatif, le prix plancher calculé par la CA de Côte d'Or pour 2014 est de :
Total	11 710 €/an 91€/TMS	- 113€/T de MS de foin - 131€/T de MS d'enrubannage

Les charges opérationnelles sont correctes. Par contre les charges de structure sont excessives. Elles sont liées à une sous-utilisation du séchoir au regard de son coût. Une augmentation des quantités de foin séchée par an permettrait de réduire les charges fixes de façon importantes.

L'exploitant n'a pas en interne de matière première pour sécher plus de tonnage :

- L'exploitant ne dispose pas de surface de prairie supplémentaire.
- L'exploitant réalise beaucoup d'enrubannage de ray gras. Le ray gras se sèche mal surtout en grosse quantité.

Dans ce cas de figure, la totalité de la prime V générée par les 20 jours de séchage effectif viennent compenser le surcoût d'exploitation par rapport à un enrubannage.

« Le prix à la tonne est important mais avant tout ce séchoir nous valorise la chaleur produite par l'unité de méthanisation. C'est vrai que ce coût de revient du fourrage est aberrant mais

nous ne prenons pas en compte ce point puisque la valorisation de chaleur nous comble ce surcoût. Le séchoir et la méthanisation font partie de l'exploitation donc les frais financiers sont dilués et intégrés sur l'ensemble de notre entreprise. »

### **Piste d'évolution - recherche des utilisations complémentaires pour valoriser la chaleur.**

L'exploitant recherche actuellement des voies complémentaires pour valoriser la chaleur.

#### **Séchage de bois**

Il a prospecté auprès de toutes les scieries de son secteur mais tous sont équipés d'un séchoir de bois (parqueterie de luxe ou bois d'œuvre). Il s'intéresse actuellement à la possibilité de sécher du bois énergie.

#### **Séchage de céréales**

Il a été sollicité par des producteurs de céréales bio. Les agriculteurs bio sont demandeurs de prestation de séchage car leurs céréales contiennent des mauvaises herbes qui sont ramassées en même temps que le blé et génèrent des problèmes de stockage.

Le GAEC du Baillys a décliné cette proposition car à cette période de l'année le travail est important. Par ailleurs, il ne dispose pas de benne soufflante ou de matériel adapté pour sécher les céréales.

#### **Séchage de maïs grain**

Le GAEC des Baillys produit du maïs mais ne récolte pas de grain. En effet, depuis la mise en place de l'installation biogaz, tout le maïs est récolté en ensilage. L'ensilage sert en priorité à nourrir les bêtes. Le maïs ensilage constitue aussi une réserve de substrat pour le digesteur en cas de besoin.

Les débits des céréaliers sont trop importants par rapport aux capacités de séchage de son site. Il a réalisé un essai non concluant avec une petite benne de 15 tonnes. Cependant, la benne n'était pas adaptée car elle ne disposait pas de caillebotis rendant difficile circulation de l'air.

## 6. Pour aller plus loin

### 6.1. Exemples de formations

Le séchage est une activité spécifique qui demande un minimum de connaissance pour être bien faite et pour optimiser les projets. Différents organismes proposent régulièrement des formations ou des journées techniques :

Organisme	Formation
ARVALIS	Optimiser le séchage du maïs
FIBRA	Séchage de bois
FCBA	Séchage de bois
SEGRAFO	Séchage de fourrage en grange

### 6.2. Ressources bibliographiques

Organisme	Titre de l'étude	Nbre de page	Année de publication
EU Agro biogaz	Deliverable 16: Best practice and standard for using heat to feed the public network	68p	2007
ADEME	Méthanisation dans la filière porcine – Séparation de phases, séchage et normalisation d'un digestat	111p	2010
ADEME	Enquête sur le prix des combustibles bois en 2011 - 2012	17p	2012
ADEME	Utilisation rationnelle de l'énergie pour le séchage des grains et des fourrages	55p	2011
ADEME	Utilisation rationnelle de l'énergie pour le séchage des grains et des fourrages	103p	2011
Segrafo	Méthanisation et séchage en grange : un couplage est-il possible ?	4p	2011
ADEME	Chaufferie à bois pour le séchage des sciages	105p	2002