

**ÉTUDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE**  
**SUR LES VALORISATIONS DE LA BIOMASSE**  
**ISSUE DE LA FILIÈRE LAVANDE - LAVANDIN**

# SOMMAIRE

I.	Le contexte de l'étude et ses objectifs .....	3
II.	La nature des produits disponibles .....	3
1.	Les cultures concernées.....	3
2.	Les chantiers de récolte et les types de paille obtenue.....	4
3.	Les propriétés physico-chimiques du produit .....	6
III.	L'estimation de la quantité disponible et sa répartition .....	7
1.	Les quantités de biomasse produite .....	7
a.	Les pailles distillées .....	7
b.	Les plants arrachés.....	9
2.	Les utilisations actuelles de la biomasse.....	9
IV.	Les évolutions probables des quantités disponibles .....	13
V.	Les valorisations possibles de la biomasse .....	14
1.	Les valorisations énergétiques .....	14
a.	Les chaudières à biomasse .....	14
b.	La cogénération .....	17
c.	La fabrication de biocombustibles.....	18
d.	La gazéification .....	20
e.	La méthanisation.....	21
2.	Les valorisations non-énergétiques.....	22
a.	Le compostage .....	22
b.	Les biomatériaux.....	24

## **I. Le contexte de l'étude et ses objectifs**

La biomasse agricole est l'ensemble de la masse végétale (tiges, feuilles, graines, racines) issue de l'activité photosynthétique des plantes cultivées. C'est une forme de stockage de l'énergie solaire sous forme d'amidon, de cellulose, de protéines, de matières grasses. Toute cette biomasse représente un atout pour l'environnement, puisque sa combustion pour produire de l'énergie a un effet nul sur la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère, contrairement aux énergies fossiles dont la combustion contribue à l'augmentation des gaz à effet de serre. En terme réglementaire, les dernières directives européennes encouragent fortement ce type d'énergie. De plus, on assiste depuis quelques années à une évolution croissante du prix des énergies fossiles, qui contribue à un alourdissement des charges à toutes les étapes de la production. La filière plantes à parfum est directement concernée par le phénomène, car les besoins énergétiques sont relativement importants, notamment lors des phases de récolte et de transformation.

C'est ainsi que depuis quelques années, le CRIEPPAM est régulièrement sollicité pour donner son avis sur l'opportunité de nouvelles valorisations des produits de la filière plantes à parfum. Ces questionnements proviennent du cœur de la filière (producteurs, distillateurs), mais aussi de l'extérieur (collectivités, entrepreneurs), et les technologies envisagées sont très variées : cogénération, fabrication de pellets, biomatériaux, chaudières à biomasse, etc... De premier abord, toutes ces applications semblent présenter un intérêt. Cependant, une étude plus approfondie de chacune est nécessaire pour juger de leur pertinence dans le cadre de la filière plantes à parfum. Au préalable, il est indispensable de cerner la quantité de biomasse disponible, sa localisation et ses caractéristiques physico-chimiques. Ce sera l'objet de la première partie de l'étude.

Dans la seconde partie, et en fonction des quantités de biomasse disponibles et de ses caractéristiques, nous envisagerons les différentes valorisations. Elles peuvent être classées selon deux grandes catégories : les valorisations énergétiques et les valorisations non-énergétiques. On peut aussi les envisager à plusieurs échelles : échelle de la distillerie (bassin de collecte = 200 hectares environ) ou échelle industrielle (bassin de collecte = toute la zone de production). Dans notre étude, nous n'approfondirons que les valorisations possibles à l'échelle de la distillerie, sans quoi cela dépasserait le cadre de la seule filière plantes à parfum, et impliquerait alors un remaniement profond de son organisation.

## **II. La nature des produits disponibles**

### **1. Les cultures concernées**

Les principales cultures de plantes à parfum sont, dans l'ordre, le lavandin (environ 15 000 ha), la lavande (environ 5 000 ha) et la sauge sclarée (environ 2 000 ha). En période estivale (de fin juin à fin août selon les bassins de production), ces plantes sont récoltées (tiges + fleurs), puis la plupart du temps distillées pour extraire l'huile essentielle. Un produit subsiste en fin de distillation, la paille distillée. Cette paille est stockée à proximité des distilleries, ou sur l'exploitation.

Le cas de la sauge sclarée est cependant différent de celui de la lavande et du lavandin, puisque le produit connaît une deuxième valorisation suite à la distillation : une extraction par solvant pour extraire le sclaréol. Cette opération est réalisée par des industries de traitement de matières premières aromatiques. La paille de sauge sclarée (distillée ou

non) est donc transportée jusqu'à ces usines de transformation, qui la valorisent après extraction au solvant en les compostant. La valorisation de ces produits est gérée par les industriels. Ainsi, dans la suite de l'étude, nous ne considérerons que les pailles distillées de lavande et de lavandin, qui elles sont stockées à proximité des distilleries, et dont la valorisation est parfois insuffisante.

Un autre produit issu de la filière pourrait être valorisé. Il s'agit des plants de lavande et lavandin arrachés en fin de plantation. Ils représentent une quantité de biomasse conséquente, qui serait disponible environ une fois tous les 10 ans (durée de vie moyenne d'une plantation). Les arrachages ont lieu généralement à l'automne, lorsque les récoltes sont terminées.

## **2. Les chantiers de récolte et les types de paille obtenue**

Toutes les pailles n'ont pas les mêmes caractéristiques techniques et ne se prêtent pas à toutes les utilisations.

Il existe actuellement deux principales techniques de récolte. La première est la technique dite « traditionnelle » : il s'agit d'une récolte en gerbes. Et la seconde, apparue dans les années 90, est la technique dite « vert-broyé » : c'est aujourd'hui la plus répandue.

Dans la technique traditionnelle, les tiges et inflorescences sont coupées, mises en gerbes puis laissées au champ quelques jours pour séchage. Les gerbes sont alors ramassées puis distillées. Les résidus de la distillation sont constitués de paille séchée en gerbes. Ces gerbes ayant un faible taux d'humidité, elles peuvent servir de combustible pour la production de vapeur (dans les distilleries traditionnelles) ou être brûlées à proximité de la distillerie sur une aire spécialement aménagée. Les pailles en gerbes sont par contre peu fermentescibles et ne peuvent pas être facilement compostées en l'état.



**Photo 1 : récolte traditionnelle en gerbes**



**Photo 2 : foyer à paille dans une distillerie traditionnelle**

La technique « vert-broyé » s'appuie sur deux modifications notables : d'une part la production de vapeur grâce à de l'énergie fossile (fuel ou gaz), et la modification de la chaîne de récolte. Dans cette technique, la tige et l'inflorescence sont coupées puis broyées à l'aide d'une ensileuse. Les pailles broyées sont le plus souvent directement distillées, sans phase de séchage. Les résidus de distillation sont constitués de paille broyée, en vrac, dont le taux d'humidité avoisine les 65%. Contrairement aux pailles en gerbe, les pailles issues de la technologie vert-broyé brûlent difficilement car leur teneur en eau est élevée. Par contre, et pour la même raison, leur compostage est possible, mais nécessite tout de même la mise en

œuvre de techniques de retournement pour être réalisé dans de bonnes conditions. A noter que ce compostage est difficile dans les zones sèches et ventées.



**Photo 3 : récolte avec une ensileuse en broyé**



**Photo 4 : distillerie moderne**

A l'heure actuelle, la technique vert-broyé tend à se généraliser pour le lavandin. Pour la lavande, et plus particulièrement la lavande de population, un système mixte peut être mis en place, la technique dite « préfané », avec une récolte en vrac suivie d'un préfanage (puis parfois d'une reprise avec broyage pour une autre variante, la technique dite « préfané-broyé ») puis d'une distillation en caisson. Les techniques de récolte et de distillation traditionnelles disparaissent peu à peu, car elles ont de faibles productivités et demandent beaucoup de main d'œuvre.

Dans les années à venir, une autre technique de récolte devrait voir le jour et se développer. Il s'agit de la récolte « Espieur », conçue et en cours de mise au point par le CRIEPPAM. Cette technique vise à ne récolter que la fleur, avec un système de peignes rotatifs. A l'arrière de la récolteuse, les tiges sont broyées et épandues dans la parcelle. Les quantités récoltées, transportées et distillées sont divisées par deux en comparaison à une technique de récolte en vert-broyé. Si cette technologie venait à se généraliser chez les producteurs, les volumes disponibles pour une deuxième valorisation seraient nettement diminués. Cette technologie de récolte devrait être accessible aux producteurs dès l'année 2011.



**Photo 5 : prototype de récolte Espieur**



**Photo 6 : produit de récolte de l'Espieur**

### 3. Les propriétés physico-chimiques du produit

Les pailles de lavande et de lavandin sont constituées des tiges et inflorescences, sauf dans le cas d'une récolte avec l'Espieur où le produit est alors essentiellement constitué de fleurs (pas exclusivement car il y a toujours une petite part de tiges récoltées).

Le taux d'humidité des pailles est de 15 à 35% dans les pailles traditionnelles (gerbes) ou préfané, et d'environ 65% dans les pailles vert-broyé et dans le produit Espieur. Ce taux d'humidité varie peu lors du processus de distillation. Par contre, lors du stockage, on observe une évolution du taux d'humidité du produit avec un assèchement de la partie supérieure du tas.

Des analyses de paille distillée vert-broyé de lavandin ont été réalisées au cours de l'été 2008, sur des pailles issues des 3 grands bassins de production : Vallée du Rhône, Plateau de Valensole et Plateau d'Albion. Les résultats obtenus sont les suivants :

	unité	Vallée du Rhône	Plateau de Valensole	Plateau d'Albion
<b>Analyse élémentaire</b>				
Azote	en % sur sec	1,277	1,217	1,273
Carbone	en % sur sec	47,455	47,641	49,080
Chlore	en % sur sec	0,21	0,17	0,13
Hydrogène	en % sur sec	5,576	5,876	6,043
Oxygène	en % sur sec	36,32	39,00	38,14
Soufre	en % sur sec	0,10	0,11	0,14
<b>Détermination du taux de cendres</b>				
Cendres sur sec	en %	9,06	5,99	5,19
<b>Fusibilité des cendres</b>				
Fusibilité en atm. réductrice	en °C	> 1450	> 1450	> 1450
<b>Détermination de l'humidité</b>				
Humidité	en %	64,6	60,8	58,3
<b>Eléments dans les cendres</b>				
Silice (Si) exprimé en SiO <sub>2</sub>	en %	37,77	19,39	9,05
Fer (Fe) exprimé en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	en %	7,95	3,57	26,35
Aluminium (Al) exprimé en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	en %	5,08	3,41	23,63
Phosphore (P) exprimé en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	en %	3,73	8,87	0,76
Calcium (Ca) exprimé en CaO	en %	28,12	39,11	5,17
Magnésium (Mg) exprimé en MgO	en %	5,03	7,18	2,19
Potassium (K) exprimé en K <sub>2</sub> O	en %	9,59	14,65	1,72
Sodium (Na) exprimé en Na <sub>2</sub> O	en %	0,80	0,54	0,50
Manganèse (Mn) exprimé en Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	en %	0,09	0,13	0,09
Titane (Ti) exprimé en TiO <sub>2</sub>	en %	0,26	0,21	1,26
<b>Détermination du pouvoir calorifique</b>				
Pouvoir calorifique inférieur sur sec	kJ/kg	17609	17493	18314

**Figure 1 : analyses de paille de lavandin distillée vert-broyé**

Le pouvoir calorifique inférieur (ou P<sub>ci</sub>) est l'énergie thermique libérée par la réaction de combustion d'un kilogramme de combustible, à l'exclusion de l'énergie de vaporisation (chaleur latente) de l'eau en fin de réaction. On parle de pouvoir calorifique supérieur (ou

Pcs) lorsque l'on considère aussi la chaleur latente de vaporisation de l'eau (qui peut être entièrement récupérée par condensation de la vapeur d'eau émise lors de la combustion).

Les chiffres suivants permettent d'apporter des références pour situer les caractéristiques des pailles de lavandin par rapport à celles des combustibles plus traditionnels :

	<b>Bois</b>	<b>Pailles Céréales</b>
<b>Taux d'humidité (%)</b>	25% - 45%	10% - 22%
<b>COMPOSITION ELEMENTAIRE</b>		
<b>Azote (N)</b>	0,07% - 0,49%	0,18% - 0,84%
<b>Chlore (Cl)</b>	0,004% - 0,02%	0,14% - 0,75%
<b>Soufre (S)</b>	0,004% - 0,05%	0,05% - 0,27%
<b>CENDRES</b>		
<b>Taux de cendres (%)</b>	0,55% - 1,50%	3% - 6,20%
<b>Température de fusion des cendres (°C)</b>	1000°C - 1400°C	800°C - 1273°C
<b>COMPOSITION DES CENDRES</b>		
<b>SiO<sub>2</sub> (%)</b>	15,75%	53,00%
<b>POUVOIR CALORIFIQUE</b>		
<b>Pci (kJ/kg)</b>	12600 - 19404	14400 - 18684

**Figure 2 : caractéristiques techniques de deux combustibles de référence**

Ainsi, on peut faire les quelques commentaires suivants sur les caractéristiques physico-chimiques des pailles de lavandin distillées :

- La composition élémentaire du produit est assez stable quel que soit le bassin de production.
- Les taux de cendres sont assez élevés, en comparaison à celui du bois. Ils sont du même ordre de grandeur que ceux des pailles de céréales.
- La température de fusibilité des cendres est très élevée.
- Le taux d'humidité est très élevé.
- La composition des cendres est assez variable d'un bassin de production à l'autre. On notera un taux de silice parfois élevé, équivalent à celui des pailles de céréales.
- Le pouvoir calorifique est bon, et comparable à celui du chêne.

Toutes ces connaissances nous permettront par la suite d'évaluer les avantages et les inconvénients techniques de l'utilisation de ce produit dans les différentes technologies envisagées.

### **III. L'estimation de la quantité disponible et sa répartition**

#### **1. Les quantités de biomasse produite**

##### **a. Les pailles distillées**

La mise en place de la réglementation REACH a permis aux distilleries de déclarer leur production d'huiles essentielles. 106 distilleries ont déclaré des productions d'huile essentielle de lavande et de lavandin. A partir de ces informations, nous avons pu extrapoler, et estimer la quantité de paille produite par chaque distillerie. Nous disposons également auparavant de certaines caractéristiques techniques de ces installations, et notamment le type d'énergie utilisée par la chaudière (fossile ou paille), et donc le type de paille (gerbes ou



broyé) produite par les producteurs de cette distillerie. Nous avons ensuite procédé à un regroupement selon les grands bassins de production : Plateau de Valensole-Puimichel, Vallée du Rhône, Plateau d'Albion, Contreforts de Lure, Bassin d'Apt, Baronnies et Diois.

Afin de faire ces extrapolations, nous avons établi quelques hypothèses de départ :

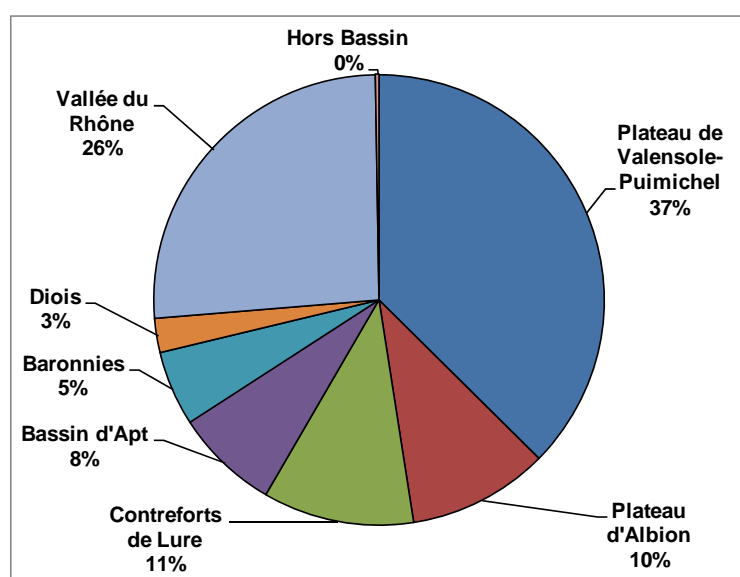
- La production en huile essentielle de chaque distillerie qui a permis de faire les estimations est la moyenne des productions déclarées pour les années 2005, 2006 et 2007.
- Le rendement moyen en huile essentielle d'un hectare de lavandin est de 70 kg/ha (moyenne CIHEF).
- Le rendement moyen en huile essentielle d'un hectare de lavande est de 20 kg/ha (moyenne CIHEF).
- Un hectare de lavandin produit 6 tonnes de matière verte de paille.
- Un hectare de lavande produit 2 tonnes de matière verte de paille.
- Le taux d'humidité de la paille est en moyenne de 65% lors de la récolte.

Voici donc les estimations des quantités de pailles produites, par grand bassin de production :

Bassins de production	Nombre de distilleries	Production d'HE de lavandin (en kg)	Production d'HE de lavande (en kg)	Surface moyenne Lavande + Lavandin (en ha)	TOTAL Poids Frais de paille (en tonnes)	TOTAL MS de paille (en tonnes)	Total MS de paille en gerbes (en tonnes)	Total MS de paille broyée (en tonnes)
Plateau de Valensole-Puimichel	34	396 428	4 831	5 905	34 463	12 062	155	11 907
Plateau d'Albion	14	71 800	31 791	2 615	9 333	3 267	418	2 848
Contreforts de Lure	15	107 610	8 119	1 943	10 036	3 512	812	2 700
Bassin d'Apt	11	76 055	3 721	1 273	6 891	2 412	790	1 622
Baronnies	10	52 129	4 822	986	4 950	1 733	853	880
Diois	7	21 037	4 435	522	2 247	786	343	443
Vallée du Rhône	13	275 030	4 243	4 141	23 998	8 399	2 802	5 597
Hors Bassin	2	2 757	49	42	241	84	0	84
<b>Total général</b>	<b>106</b>	<b>1 002 847</b>	<b>62 011</b>	<b>17 427</b>	<b>92 159</b>	<b>32 256</b>	<b>6 173</b>	<b>26 083</b>

**Figure 3 : estimation des quantités de pailles produites, par bassin de production**

Ainsi, 32 256 tonnes de matière sèche de pailles de lavande et de lavandin sont produites par l'ensemble de la filière, dont 6 173 tonnes de gerbes, et 26 083 tonnes de paille broyée. La répartition par bassin de production est représentée ci-après :



**Figure 4 : Répartition de la paille produite par bassin de production**



On peut ainsi distinguer trois grands bassins sources de paille : le Plateau de Valensole-Puimichel, la Vallée du Rhône, puis le bassin « Plateau d'Albion – Contreforts de Lure – Bassin d'Apt » qui représente une zone géographique assez concentrée. Les bassins des Baronnies et du Diois produisent des quantités beaucoup plus modestes, et les distilleries sont généralement plus petites et éloignées les unes des autres.

## **b. Les plants arrachés**

Lorsqu'une plantation de lavande ou de lavandin atteint un certain âge, tous les plants sont arrachés. Une fois débarrassés de la terre, ils représentent une quantité de biomasse relativement importante. C'est un produit à considérer très différemment des pailles distillées, puisque disponible environ tous les 10 ans, et qui demanderait vraisemblablement un traitement (nettoyage et broyage) avant utilisation. Sa localisation est également différente, puisque les plants arrachés sont présents sur les parcelles, contrairement aux pailles qui sont généralement concentrées autour des distilleries.

Les hypothèses pour estimer la quantité que ce produit représente sont les suivantes :

- La durée de vie d'une plantation est de 10 ans en moyenne pour du lavandin, et de 8 ans pour de la lavande.
- Le nombre moyen de plants par hectare est de 8 500 pour le lavandin, et de 11 000 pour la lavande.
- Un plant de lavandin arraché et séché au champ pèse en moyenne 1,5 kg, pour un taux de matière sèche de 88% (mesures CRIEPPAM 2008 – Min=1,1 kg – Max = 2,1kg – Ecart-Type = 0,26 kg).
- Un plant de lavande est environ deux fois plus petit qu'un plant de lavandin.

Ainsi, l'arrachage d'une plantation de lavandin génère 11,2 tonnes de MS de produit (soit l'équivalent de 1,12 tonne / an), et l'arrachage d'une plantation de lavande 7,2 tonnes de MS de produit (soit l'équivalent de 0,90 tonne / an).

Sachant que la partie aérienne du plant représente 58% du poids sec (mesures CRIEPPAM 2008), et si on suppose qu'on ne récupère que cette partie, alors l'arrachage d'une plantation de lavandin générerait 6,5 tonnes de MS de produit, et l'arrachage d'une plantation de lavande 4,2 tonnes de MS de produit.

Le CRIEPPAM entamera à partir de 2009 des études plus approfondies pour améliorer les techniques d'arrachage et de ramassage des plants.

## **2. Les utilisations actuelles de la biomasse**

Toute la biomasse produite par la filière lavande – lavandin n'est pas disponible, car une partie est déjà valorisée par la filière elle-même.

- Fabrication d'énergie : les distilleries traditionnelles utilisent les gerbes de paille déjà distillées pour alimenter le foyer de la chaudière. On estime que 50% de la paille distillée dans une distillerie traditionnelle est utilisée pour produire l'énergie de distillation. Ce type de distilleries tend progressivement à se raréfier. Aujourd'hui, environ 30% des distilleries ont un foyer à paille, pour seulement 15% de la production d'huiles essentielles. Ce sont généralement des petites unités.

- Fabrication de compost : le compostage est mis en jeu par une série de micro-organismes adaptés à chacune des phases, et à chacune des tâches. Quelles que soient les techniques mises en œuvre, la réalisation d'un compost nécessite la maîtrise, même partielle, des paramètres suivants : équilibre des teneurs en azote et carbone, oxygénation, teneur en eau. Les principales contraintes de la mise en œuvre du compostage des pailles de plantes à parfum sont d'ordre technique (humidité suffisante des pailles, retournement, aération), mais aussi réglementaire lorsque la capacité de production de compost est supérieure à 1 tonne / jour (365 t/an). La paille vert-broyé est susceptible de se composter assez facilement, contrairement aux gerbes qui vont nécessiter plus d'interventions (notamment des apports d'eau). En général, les exploitants agricoles qui mettent en œuvre le compostage réalisent des andains de pailles, le plus près possible des parcelles où sera utilisé le compost, certains utilisent des aires dédiées. Sur le Plateau de Valensole-Puimichel, environ 1/3 des pailles sont compostées par les producteurs eux-mêmes (mais ils ne disposent pas du matériel de retournement adéquat) et 1/3 est collecté par un entrepreneur qui fabrique des terreaux et composts. Sur le Plateau d'Albion, les producteurs ont à leur disposition un retourneur d'andains à la CUMA, donc beaucoup d'entre eux valorisent leurs pailles de cette façon. Voici donc une estimation globale des pourcentages de pailles compostées, par bassin de production (sur dires d'experts) :

	en gerbes	broyé
Plateau de Valensole-Puimichel	0%	70%
Plateau d'Albion	0%	70%
Contreforts de Lure	0%	70%
Bassin d'Apt	20%	100%
Diois	25%	80%
Baronnies	25%	25%
Vallée du Rhône	0%	30%
Hors bassin	0%	0%

**Figure 5 : estimation des pourcentages de pailles compostées, par bassin de production**

- Epannage en vert : certains producteurs épandent directement le vert-broyé dans les parcelles sans phase de compostage préalable, pour faire un mulch. Cette pratique reste néanmoins peu répandue, car elle présente des risques en termes agronomique (faim azotée) et environnemental (lessivage d'azote). Il s'agit plus dans ce cas de se « débarrasser » des pailles, que d'une réelle valorisation raisonnée.

Toutes les pailles qui ne sont ni compostées, ni valorisées pour leur énergie dans les distilleries sont potentiellement disponibles pour de meilleures valorisations. De même que l'intégralité des plants arrachés de lavande et de lavandin. Parfois, certains producteurs brûlent ces pailles, mais cela reste rare, et induit de surcroît des problèmes de fumées. Quand il a lieu, le brûlage s'effectue en automne quand les interdictions sont levées. Mais cette pratique représente un gaspillage important d'énergie et de matière organique.

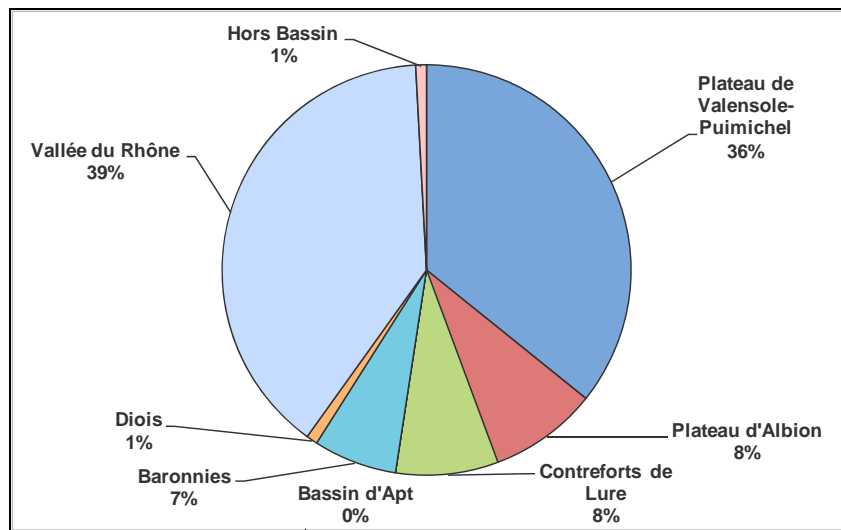
Ainsi, les quantités disponibles de pailles distillées pour de nouvelles utilisations sont les suivantes :

Bassins de production	Total MS de paille restante après distillation (en tonnes)		Total MS de paille restante après compostage (en tonnes)	
	en gerbes	broyée	en gerbes	broyée
Plateau de Valensole-Puimichel	77	11 907	77	3 572
Plateau d'Albion	209	2 848	209	855
Contreforts de Lure	406	2 700	406	810
Bassin d'Apt	395	1 622	316	0
Baronnies	426	880	320	660
Diois	172	443	129	89
Vallée du Rhône	1 401	5 597	1 401	3 918
Hors Bassin	0	84	0	84
<b>Total général</b>	<b>3 087</b>	<b>26 083</b>	<b>2 858</b>	<b>9 988</b>

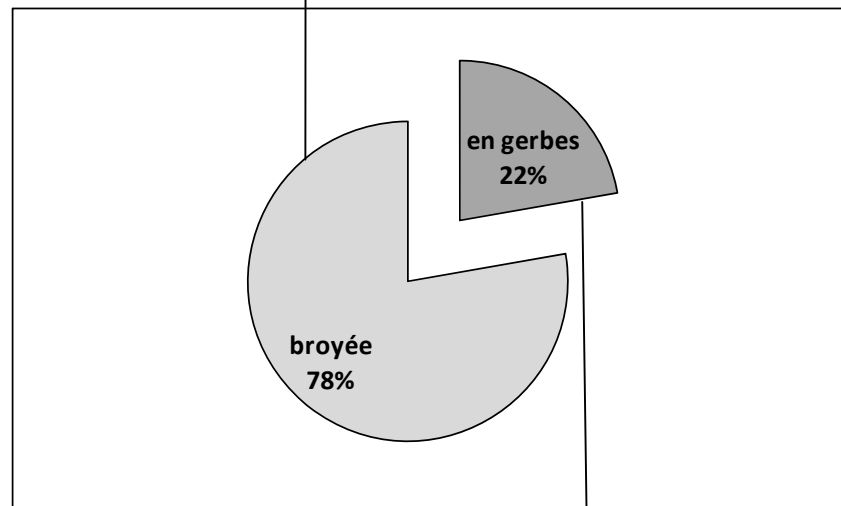
**Figure 6 : estimation des quantités de paille distillée disponibles**

12 846 tonnes de matière sèche de pailles de lavande et de lavandin restent actuellement non valorisées sur l'ensemble de la zone de production, dont 2 858 tonnes de gerbes et 9 988 tonnes de paille broyée. A cela vient s'ajouter l'intégralité de la biomasse issue des arrachages de plantations.

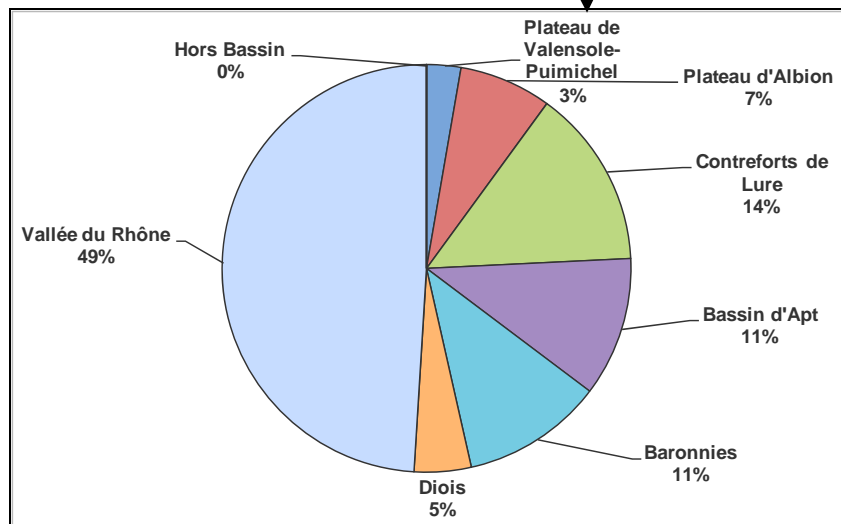
**Figure 7 : répartition de la paille broyée disponible, par bassin de production**



**Figure 8 : répartition de la paille disponible, selon sa nature**



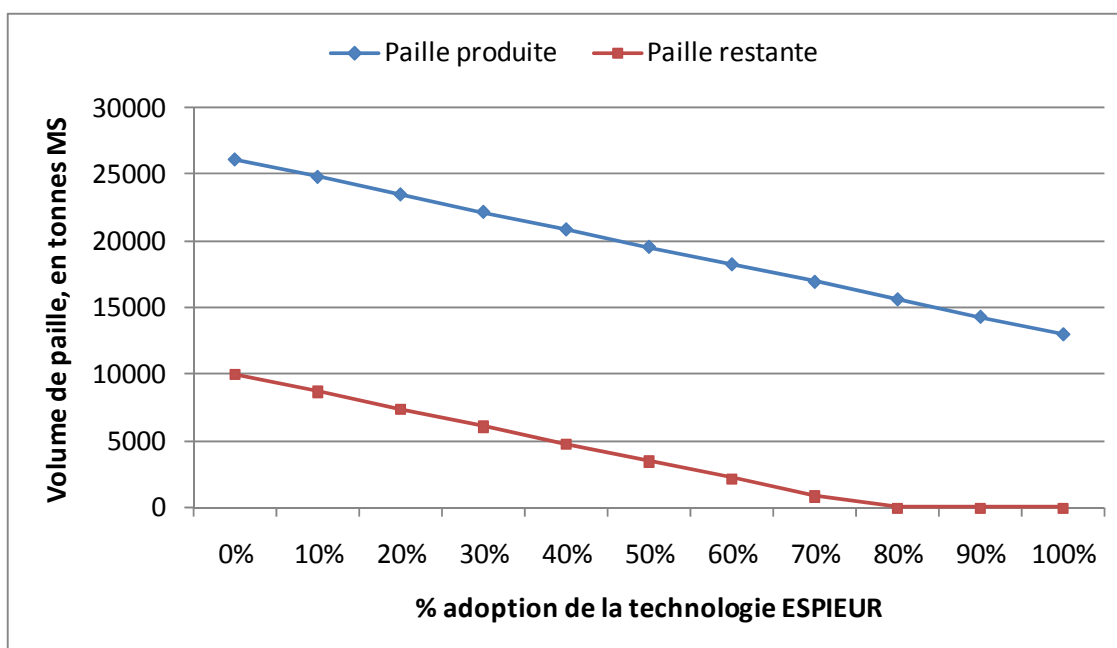
**Figure 9 : répartition de la paille en gerbes disponible, par bassin de production**



## IV. Les évolutions probables des quantités disponibles

La filière lavande-lavandin est aujourd'hui dans une situation sanitaire difficile, liée au développement du dépérissement à phytoplasme et aux conditions climatiques extrêmes de ces dernières années (sécheresse, canicule). Cette situation entraîne petit à petit des baisses des surfaces en production et des volumes récoltés, et donc des volumes de paille potentiellement valorisables.

D'autre part, et comme présenté plus haut, une nouvelle technique de récolte, nommée Espieur, pourrait se généraliser dans les années à venir. Cette technique divise par deux le volume de végétal récolté et distillé. Ainsi, selon l'importance de l'adoption de la technologie par les producteurs, il pourrait ne rester que très peu, voire pas du tout de paille disponible, si on suppose que le taux de valorisation actuel se maintient :



**Figure 10** : quantité de paille disponible, selon le pourcentage d'adoption de la technologie Espieur

Le développement de la technologie Espieur est encore soumis à un certain nombre d'inconnues, puisqu'il reste quelques étapes de validation à passer. Mais on peut penser que d'ici une dizaine d'années, 60 à 80% des machines de récolte soient des Espieurs, car les futurs renouvellements de machines permettront de basculer vers cette technologie. La quantité de biomasse non-valorisée par la filière serait alors extrêmement faible, voire nulle.

Cependant, il faut s'attendre à ce que les différents projets en cours d'étude (Espieur, Ecovaporateur, chaudières à biomasse, ...) viennent en interaction les uns des autres au moment de leur développement chez les producteurs et les distillateurs. Les technologies les plus intéressantes prendront naturellement le pas sur les autres.

## V. Les valorisations possibles de la biomasse

La valorisation de la biomasse peut être envisagée selon différents objectifs.

On peut vouloir récupérer l'énergie contenue dans la matière végétale : ce sont les valorisations « énergétiques ». Les technologies associées sont nombreuses : brûlage direct de la biomasse dans des chaudières adaptées en vue de produire de la chaleur, brûlage direct dans une installation de cogénération en vue de produire de la chaleur et de l'électricité, transformation de la biomasse en biocombustible utilisable par la suite dans des chaufferies adaptées, fabrication de gaz combustible (par gazéification ou méthanisation) permettant la fabrication de chaleur et d'électricité.

La biomasse peut aussi être utilisée à des fins non énergétiques. Nous aborderons rapidement le compostage, technique bien connue qui permet de valoriser le pouvoir fertilisant des résidus végétaux. D'autre part, la biomasse peut aussi entrer dans la fabrication de biomatériaux, dont l'intérêt environnemental est aujourd'hui croissant.

Aujourd'hui, la priorité pour un producteur est d'utiliser sa biomasse sur sa propre exploitation. Son choix se portera sur une ou plusieurs valorisations, et sera guidé par différents critères : le bénéfice agronomique, le bénéfice financier, la facilité de mise en œuvre, les investissements nécessaires, etc... Mais ce choix peut évoluer dans le temps si de nouveaux éléments entrent en jeu.

### 1. Les valorisations énergétiques

Les analyses de pailles distillées nous indiquent que celles-ci sont très énergétiques, avec un Pci d'environ 18 000 kJ/kg MS (soit environ l'équivalent énergétique d'1/2 L de fuel/kg MS, ou l'équivalent de 1 kg de bois de chêne). Face à ce gisement d'énergie, les besoins énergétiques de la culture de lavandin s'élèvent à l'équivalent de 32 L/ha de fuel pour la culture (y compris l'implantation), 30 L/ha pour la récolte et le transport, et 210 L/ha pour la distillation, soit un besoin énergétique total de 272 L/ha de fuel (hypothèses sous-jacentes : seuls les besoins directs sont pris en compte, durée de vie moyenne d'une plantation de 10 ans, rendement moyen de 100 kg/ha, rendement de la chaudière de 0,85, besoin pour la distillation de 25 kg vapeur/kg huile essentielle soit 62500 kJ/kg huile essentielle). Ainsi, la biomasse produite représente quatre fois l'énergie nécessaire à la distillation, et deux fois si on considère une récolte avec l'Espieur.

Devant l'évolution structurellement croissante du prix du pétrole, il apparaît que la priorité est aujourd'hui de valoriser l'énergie contenue dans la biomasse issue de la filière, au sein de la filière elle-même, et plus précisément au sein des distilleries qui représentent le poste le plus consommateur d'énergie. Nous envisagerons les différentes technologies dans cet objectif.

#### a. Les chaudières à biomasse

- Contexte et objectifs

Historiquement, dans les distilleries traditionnelles, les gerbes de paille de lavande et lavandin distillée constituaient la source d'énergie pour la production de vapeur. Les foyers étaient constitués de briques réfractaires, et le feu était alimenté manuellement. Mais le rendement énergétique de ces chaufferies restait relativement faible, de l'ordre de 50%.

Dans les années 90 a eu lieu une vague de modernisation des chantiers de récolte, avec, pour une grande partie des lavandiculteurs, le passage d'une récolte en gerbes à une récolte en vert-broyé. Le nouveau produit résultant de la récolte a alors un taux d'humidité

beaucoup plus élevé (environ 65%), et son brûlage direct dans le foyer devient impossible. Les chaufferies évoluent ainsi en même temps, et passent à l'énergie fossile, gaz ou fuel, alors bon marché. Mais aujourd'hui, avec la hausse du prix du pétrole, la question de la valorisation des pailles pour produire l'énergie nécessaire à la distillation refait surface. Des évolutions ont eu lieu dans ce domaine ; de nouvelles technologies pourraient permettre de brûler du vert-broyé, et satisfaire nos attentes.

- Description du procédé

Les générateurs ou chaudières à biomasse transforment et transmettent l'énergie contenue dans la biomasse à un fluide. Ils sont composés de deux éléments : d'un foyer (où se déroule la combustion) et d'un échangeur (où se produit le transfert de la chaleur vers le fluide).

Il existe plusieurs types de foyers pour la biomasse selon le combustible utilisé (petit brûleur, foyer volcan, foyer à insufflation, foyer à grille plane, foyer à grille mobile, foyer volcan avec grille rotative, foyer à lit fluidisé stationnaire, foyer à lit fluidisé circulant, etc...).

Concernant les échangeurs, il en existe principalement deux types pour les chaudières à biomasse : les échangeurs à tubes d'eau et les échangeurs à tube de fumées.

- Pour les échangeurs à tubes de fumées, les gaz de combustion circulent dans des tubes placés dans l'eau de la chaudière. Les échangeurs à tubes de fumées actuels sont généralement à deux ou trois passages de fumées. Ils sont majoritairement positionnés à l'horizontale, mais il existe des modèles verticaux. Le premier parcours est constitué par la chambre de postcombustion, le deuxième et le troisième correspondent aux faisceaux tubulaires. Pour favoriser les échanges thermiques, le temps de séjour des gaz à l'intérieur des faisceaux tubulaires doit être élevé. Les chaudières à tubes de fumées répondent à des besoins de production de vapeur, d'eau chaude classique, voire d'eau surchauffée, et sont généralement utilisés pour les chaudières de petites et de moyennes tailles, jusqu'à 30 MW. Les chaudières utilisées dans les distilleries, généralement de puissance comprise entre 1 et 5 MW, sont principalement de type à tubes de fumées.
- Pour les échangeurs à tubes ou lames d'eau, contrairement aux échangeurs à tubes de fumées, les gaz de la combustion transmettent la chaleur à l'eau qui circule à l'intérieur des tubes de l'échangeur. Il existe plusieurs types de chaudières à tubes d'eau : les chaudières à circulation naturelle, à circulation forcée et les générateurs de vapeur. Les chaudières à tubes d'eau représentent la majorité des chaudières vapeur en service actuellement et sont généralement utilisées pour les chaudières de moyennes et grandes tailles (de 10 à 900 MW).

- Estimation du coût

Plusieurs constructeurs se divisent le marché des chaufferies à biomasse, destinées à la production de vapeur, et de puissance d'environ 2 à 3 MW. Nous en avons rencontré plusieurs lors du salon Bois-Energie de Lons Le Saunier : COMPTE R, MAWERA, POLYTECHNIC, REKA. Après consultation de ces différents constructeurs, nous pouvons estimer le coût d'une chaufferie à biomasse de cette puissance : il se situerait entre 500 000 € et 1 M° €, tout compris. Il s'agit dans ce cas de chaudières automatisées, avec foyer à grilles mobiles, et dotées d'un système performant de traitement des fumées. Bien que cela représente un budget conséquent, l'amortissement pourrait se faire au bout de 10-15 ans dans les plus grosses distilleries de la zone de production.



Une recherche plus approfondie de nouveaux fournisseurs devrait nous permettre de baisser ce budget, en envisageant une chaufferie plus « rustique », et ainsi plus adaptée aux besoins des distillateurs.

Dans ce cadre, Bert Candaele, responsable distillation au CRIEPPAM, est allé visiter une distillerie biomasse en Espagne en septembre 2008, dans la région d'Albacete. Il s'agit d'une chaudière de 1,5 tonne/h, achetée en 2005 pour 70 000 €. Cette distillerie, en autonomie complète, sert aussi pour réchauffer les séchoirs de plantes aromatiques. La distillation se fait dans 2 cuves de 6 000 litres. La production, certifiée bio, est constituée de lavandin Super et de romarin (herboristerie et huile essentielle). Le foyer de la chaudière est un creuset alimenté par une vis latérale. Les pailles sont stockées d'une année sur l'autre afin d'être séchées. Elles sont ensuite broyées à l'aide d'une mélangeuse distributrice à ensilage, et sont mélangées avec 50% de bois. Aucun essai n'a été réalisé pour brûler directement du vert-broyé non séché. Le refroidissement se fait dans des tuyaux au fond d'un bassin.



**Photo 7 : distillerie biomasse en Espagne**

Ce type de chaudière, plus rustique et moins onéreuse, pourrait correspondre aux besoins de la filière française. La collaboration avec les espagnols sera donc poursuivie en 2009.

- Atouts et contraintes

L'avantage de cette technologie est qu'elle ne nécessite aucune transformation préalable de la biomasse (bien que pour augmenter le rendement de l'installation, un léger séchage serait bénéfique). Economiquement parlant, les plus grosses distilleries devraient pouvoir financer ce type de chaudières.

D'un point de vue technique, il existe maintenant des chaudières à biomasse capables d'absorber du végétal présentant les caractéristiques physico-chimiques des pailles de lavandin distillées, c'est-à-dire notamment avec un taux d'humidité élevé. Par contre, le taux de cendres étant lui aussi élevé, il sera nécessaire de trouver un système de gestion de ces cendres performant. Celles-ci présentent néanmoins l'avantage d'avoir une température de fusibilité élevée, ce qui devrait limiter la formation de mâchefer.

- Conclusion

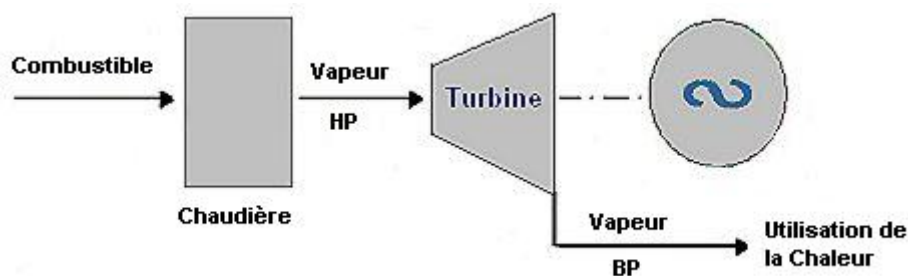
Le développement des chaudières à biomasse dans les distilleries de plantes à parfum apparaît une piste prometteuse pour l'avenir. Le défi à relever consiste à adapter les technologies existantes et ultra performantes proposées par les constructeurs, aux distilleries qui disposent d'une chaufferie au fonctionnement plus rustique, ceci dans le but d'abaisser les premières estimations d'investissement dont nous disposons. Ce travail sera poursuivi par le CRIEPPAM au cours des prochaines années.

## b. La cogénération

- Description du procédé

La cogénération consiste à produire à partir d'une énergie primaire combustible, deux énergies secondaires utilisables : une énergie mécanique ou électrique, et une énergie thermique. En pratique, la cogénération consiste le plus souvent à récupérer et valoriser la chaleur dissipée lors de la génération électrique.

Si on envisage cette technologie à l'échelle de la distillerie, il s'agira d'utiliser de façon prioritaire l'énergie thermique dans le procédé de distillation, la cogénération d'électricité par conversion de l'énergie mécanique dans une turbine à vapeur (au travers d'un alternateur) étant un moyen d'améliorer le rendement global de l'installation.



**Figure 11** : principe de la cogénération

Dans un équipement de cogénération, l'énergie électrique est soit autoconsommée, soit réinjectée sur le réseau électrique public, selon des conditions économiques fixées par les pouvoirs publics.

Ce type d'installation demande donc de disposer de biomasse suffisante pour d'une part produire l'énergie nécessaire à la distillation, et d'autre part faire tourner la turbine pour la production d'électricité.

- Estimation du coût

Lors du salon Bois-Energie de Lons Le Saunier, nous avons pu rencontrer la société MAWERA, spécialisée dans les chaudières à biomasse, avec ou sans cogénération. Pour disposer de la puissance nécessaire pour distiller, le constructeur nous a proposé une installation de cogénération de 3,8 MW thermique pour 850 kW électrique, avec une montée en pression à 32 bars. Ce type d'installation coûterait 3,3 millions €. D'après eux, le seuil de rentabilité est de 8000 h/an de fonctionnement, avec un rachat de l'électricité à 12 cts €/kWh. Actuellement, l'électricité est rachetée en France à seulement 6 cts €/kWh (Allemagne : 20 cts €/kWh, Autriche : 12 à 15 cts €/kWh), et la durée de fonctionnement d'une distillerie se situe autour de 200 heures/an.

- Conclusion

Ainsi, on s'aperçoit que la cogénération demande des investissements conséquents, et que les conditions de fonctionnement d'une distillerie ne correspondent pas à ce type d'application. Par ailleurs, les tarifs de rachat de l'électricité ne sont pas suffisamment attractifs. Cette technologie serait plus adaptée à l'échelle industrielle. Plusieurs projets existent d'ailleurs dans la région, sur des grosses unités capables d'absorber de la biomasse

agricole et sylvicole, de natures variées. Cela nécessite de tourner toute l'année, et de disposer alors d'un plan d'approvisionnement diversifié. Le projet dépasse largement l'échelle de la filière plantes à parfum.

### c. La fabrication de biocombustibles

On peut distinguer deux types de biocombustibles réalisables à partir de paille de lavande ou lavandin distillée : les granulés ou pellets (quelques mm de longueur), et les briquettes (plusieurs cm de longueur).

- Description du procédé

Le granulé biocombustible est un petit cylindre très fortement compressé à base de sciure et copeaux de bois principalement ou de matières premières agricoles. Son diamètre oscille entre 6 et 9 mm, et il mesure entre 10 et 30 mm. Sa haute densité énergétique et sa granulométrie régulière en font un combustible moderne permettant l'automatisation complète des systèmes de chauffage. La production est réalisée dans des usines spécialisées dont le processus de fabrication est inspiré de celui de la fabrication d'aliments du bétail. La matière première est préalablement séchée (autour de 10%) puis réduite à l'état de farine, pour être amenée aux conditions nécessaires de granulométrie et d'humidité avant d'être comprimée à environ 100 bars à travers une presse. Les granulés ainsi obtenus sont ensuite refroidis (conservation) puis tamisés (élimine les poussières), avant d'être ensachés ou expédiés en vrac. Le séchage est majoritairement réalisé avec des chaudières à déchets de bois, garantissant ainsi un bon bilan écologique du produit.

Les briquettes sont aussi des biocombustibles, de taille supérieure aux granulés, de 5 à 10 cm de diamètre et de quelques centimètres de longueur. Elles sont fabriquées selon un procédé assez similaire à celui qui permet la fabrication des granulés, avec cependant un broyage moins fin (environ 8 mm). Le produit à briqueter doit avoir un taux d'humidité inférieur à 15%. La fabrication peut se faire dans des installations de taille variable : des très petites unités (environ 100 kg/h) pour une utilisation domestique à des très grosses unités (plusieurs tonnes/h) ressemblantes aux usines de fabrication de granulés.

Afin de s'assurer de la faisabilité des briquettes à partir de paille de lavandin distillée, le CRIEPPAM, en collaboration avec M. Milesi, producteur de lavandin, a réalisé des essais de briquetage avec une petite presse de débit 70 kg/h à St Martin de Vésubie en janvier 2008. L'essai a été concluant puisque les briquettes avaient une très bonne tenue, meilleure que les briquettes fabriquées à partir de sciure de bois.



**Photo 8 : essai de fabrication de briquettes**



**Photo 9 : briquettes, fabriquées à partir de paille de lavandin**



**Photo 10 : essai de combustion de briquettes**

- Les contraintes réglementaires

Outre les contraintes liées à l'installation d'une usine de fabrication de biocombustibles, il existe des normes pour commercialiser les pellets et garantir ainsi leur qualité. Ces normes comprennent des exigences en termes de qualités physico-chimiques : diamètre, longueur, densité, taux d'humidité, taux de cendres, pouvoir calorifique, taux de soufre, taux d'azote, taux de chlore, etc... Si cette valorisation venait à se développer, il faudrait auparavant s'assurer du respect des normes en vigueur avec les granulés fabriqués à partir de paille de lavande et lavandin distillée.

- Estimation du coût

Pour savoir si ce procédé pouvait s'appliquer à la paille de lavande et lavandin distillée, nous avons rencontré l'entreprise BUHLER spécialisée dans la granulation au salon Bois-Energie. Pour être rentable, une usine de granulation doit traiter au moins 25 000 tonnes / an (soit l'équivalent de l'intégralité de la paille broyée produite par l'ensemble de la filière), pour un budget d'environ 600 000 € (broyage, pelletisation, refroidissement), auxquels il faut ajouter un forfait de prévention contre les problèmes de risque d'incendies lié à la présence de poussières de 150 000 €. L'usine complète (y compris séchage), hors génie civil s'élève ainsi à 1,2 M€.

Pour la fabrication de briquettes, nous avons contacté la société suisse PAWERT qui nous a proposé une presse à briqueter de capacité 900 kg/h pour 335 000 €. Nous avons aussi contacté la société italienne DI-PIU qui nous a estimé une usine complète de briquetage (séchage, broyage et briquetage) de capacité 2,4 tonnes/h de produit sec entre 600 000 et 700 000 €.

Pour une fabrication domestique de briquettes (débit d'environ 100 kg/h), la presse à briqueter coûte environ 15 000 €, mais le débit ne permet en aucun cas d'écouler et de valoriser toute la biomasse issue de la filière lavande-lavandin.

- Conclusion

Ces quelques chiffres nous montrent clairement que l'investissement dans une usine de granulation ou de briquetage n'est possible que s'il concerne la filière complète, ou si on envisage des collaborations avec d'autres filières (agricoles ou sylvicoles). De plus, cela impliquerait des coûts de transport importants pour collecter le végétal produit dans toute la zone de production.

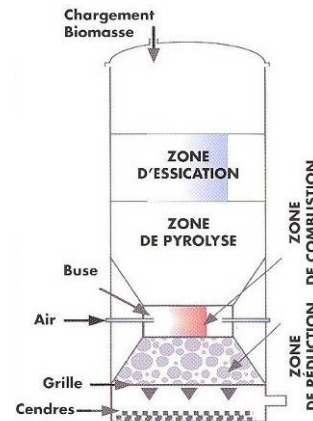
Quant à la fabrication de briquettes à bas débit, cela peut intéresser un agriculteur pour son chauffage domestique, mais elle ne résout pas le problème de la valorisation de toute la biomasse de la distillerie.

La granulation et le briquetage n'étant pas envisageable à l'échelle de la distillerie, nous n'irons pas plus loin dans cette étude.

#### d. La gazéification

- Description du procédé

La gazéification est une transformation thermochimique d'un solide combustible (charbon, bois, paille...) en présence d'un composé gazeux ( $O_2$ , air,  $CO_2$ , vapeur d'eau...) à très haute température. Le but de cette transformation est généralement de convertir le solide en un mélange gazeux combustible, appelé syngas, utilisable pour la production combinée d'énergie électrique et thermique (cogénération).



**Figure 12 : principe de la gazéification (source : CAEMA)**

Dans un réacteur à gazéification, la matière carbonée traverse plusieurs étapes différentes :

- La pyrolyse se produit avec le chauffage des particules carbonées. Les particules volatiles sont libérées et il se forme un hydrocarbure, avec jusqu'à près de 70% de perte de poids par rapport au matériau d'origine. Le processus dépend des propriétés du matériau carboné, qui déterminent la structure et la composition de l'hydrocarbure, lequel devra ensuite subir des réactions de gazéification.
- La combustion se produit à mesure que les composés volatils et certains des hydrocarbures réagissent avec l'oxygène pour former du dioxyde de carbone et du monoxyde de carbone. Cette combustion dégage d'ailleurs de la chaleur utilisable pour la phase ultérieure de gazéification.
- La gazéification proprement dite est la réaction de l'hydrocarbure avec le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau ambiants, réaction qui dégage du monoxyde de carbone et de l'hydrogène.

- Estimation du coût

Afin de savoir si cette technologie pouvait fonctionner avec de la paille de lavande et lavandin distillée, nous avons rencontré la société CAEMA ENGINEERING SRL spécialisée dans la gazéification lors du salon Bois-Energie de Lons Le Saunier. Ils nous ont indiqué que la plus petite installation faisait 1 MW (énergie électrique + énergie thermique), et que l'investissement s'élevait alors à environ 1,5 Million €. Pour être rentable, une installation de ce type doit fonctionner 7000 h/an minimum.



- Conclusion

On s'aperçoit dès ces premiers chiffres qu'il s'agit d'installations de dimension industrielle, qui doivent fonctionner toute l'année, et qu'elles ne correspondent pas à l'utilisation que l'on recherche dans la filière lavande-lavandin.

### e. La méthanisation

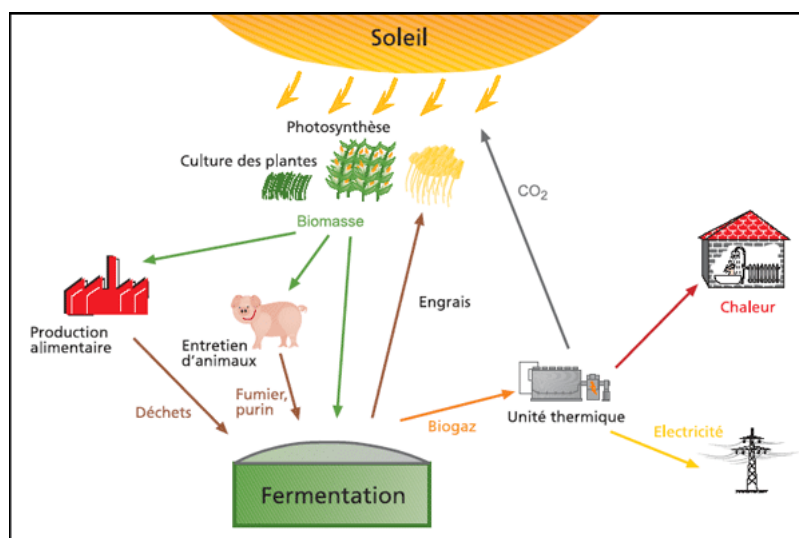
- Description du procédé

La méthanisation est un procédé biologique permettant de valoriser des matières organiques en produisant une énergie renouvelable et un engrais. En l'absence d'oxygène (digestion anaérobie), des bactéries dégradent partiellement la matière organique ce qui conduit à la formation d'un biogaz composé de 55% à 85% de méthane (valorisé en énergie) et d'un digestat (épandu sur les cultures comme engrais). Les objectifs de cette technologie sont multiples :

- Traiter la matière organique fermentescible,
- Désodoriser, voire hygiéniser le produit final (digestat),
- Recycler et restituer au sol la matière organique et les éléments fertilisants,
- Produire une énergie renouvelable et locale,

La transformation de la matière organique est réalisée grâce à la présence de bactéries méthanogènes, qui ont besoin pour se développer d'un apport suffisant en macroéléments (C, N, P, S) et en oligoéléments. Pour une bonne croissance, le milieu de culture doit avoir des teneurs en carbone (exprimé en DCO), en azote et en phosphore au minimum dans les proportions DCO/N/P égale à 400/7/1. L'ammonium est la principale source d'azote. Les besoins en azote représentent 11% de la matière sèche volatile de la biomasse, et les besoins en phosphore 1/5 de ceux de l'azote. Si on reprend les analyses de pailles de lavandin vert-broyé, on note une teneur en azote sur matière sèche inférieure à 2%.

La méthanisation peut s'appliquer à la plupart des déchets organiques : municipaux, industriels et agricoles. Par contre, la méthanisation se fait dans la plupart des cas à partir de déchets très humides, voire liquide (MS<12%).



**Figure 13 : principe de la méthanisation**

- Contraintes techniques

Notre produit ne présente pas les caractéristiques physico chimiques requises pour permettre la méthanisation : il n'est pas assez humide et a une teneur en azote trop faible. Cela risque de limiter fortement le développement des bactéries méthanogènes dans le digesteur. Il faudrait donc envisager un mélange avec d'autres effluents organiques, liquides et riches en azote tels que les lisiers.

- Conclusion

Les pailles de lavande et lavandin distillées n'ont pas les caractéristiques qui conviennent pour faire de la méthanisation. Cette valorisation ne serait alors possible qu'à l'aide de partenariats avec d'autres filières agricoles (élevage) ou avec des collectivités locales. Cela ne correspond pas au type de valorisation de la biomasse que l'on recherche.

## **2. Les valorisations non-énergétiques**

### **a. Le compostage**

- Contexte et objectifs

Le compostage est aujourd'hui la principale valorisation des pailles de lavande et de lavandin distillées. Cette technique, quand elle est correctement maîtrisée, permet de transformer la matière organique contenue dans les pailles en un compost de qualité. On peut comparer la valeur agronomique d'un compost mûr de lavandin à celle d'un fumier de mouton.

	Compost mûr de paille de lavande - lavandin	Fumier de mouton non composté
Matière sèche	360	300
Matière organique	280	230
Azote total	7,5	7,4
P2O5	3,1	3,6
MgO	2,4	1,5
K2O	10,0	10,6

**Figure 14 : valeurs agronomiques, en kg par tonne de produit brut**

Lorsque le compost est mûr, il peut alors être épandu sur les parcelles, en pré-plantation ou sur culture installée, et permettre une amélioration de la structure des sols et de leur fonctionnement.

- Description du procédé

Pour obtenir un compost de qualité, la matière organique doit subir une dégradation maîtrisée et contrôlée. Pour cela, des techniques de compostage doivent être respectées.

Il s'agit de mettre les pailles distillées en tas, afin de maintenir l'humidité, la température et la ventilation adéquates au développement des micro-organismes adaptés. Les andains de paille doivent être réalisés dès la fin de la campagne de distillation, sur une aire de compostage adaptée respectant la réglementation en vigueur.



Le processus de fermentation ne débutera qu'une fois les pailles suffisamment humides. Les précipitations d'automne sont généralement suffisantes, mais parfois un apport d'eau peut être nécessaire. Pour cette raison, les pailles vert-broyé auront plus de facilité à être compostées que des pailles au taux d'humidité plus faible telles que les gerbes ou les pailles préfané.

La dégradation des pailles par fermentation va produire de la chaleur. Un relevé régulier de la température au cœur de l'andain permet de suivre l'évolution du processus. Une diminution de la température indique un arrêt de la fermentation, et donc de la dégradation. Ceci peut être lié soit à un dessèchement des pailles, soit à un manque d'air. Le retournement de l'andain permet l'aération des pailles, et une meilleure humidification pour la suite.

- Contraintes techniques

Comme indiqué ci-dessus, le compostage nécessite une humidité minimale : seules les pailles vert-broyé se compostent facilement en l'état. Les autres demandent un apport d'eau, que les pluies automnales ne comblent pas forcément à elles seules. Les régions ventées peuvent connaître des difficultés pour mener à bien le compostage.

Le process demande aussi de l'oxygène, pour assurer un bon développement des micro-organismes. En moyenne, 3 à 4 retournements devront être réalisés à des périodes précises, et avant chaque baisse de température qui indique un arrêt de la fermentation. Pour être fait dans de bonnes conditions, il est donc nécessaire de disposer d'un retourneur d'andains. C'est un matériel onéreux, généralement acquis au sein d'une CUMA. La mise à disposition de ce matériel est souvent un frein au développement du compostage.



**Photo 11 : retourneur d'andain de compost**

Il existe aussi des contraintes réglementaires liées au stockage du compost, et à son épandage. En effet, les composts étant issus de matières organiques de natures diverses, ils peuvent induire des problèmes sanitaires ou environnementaux, en cas de mauvaises pratiques. Ainsi, les composts sont soumis à une réglementation (Règlement Sanitaire Départemental – articles 158 et 159). Les éléments pris en compte pour le stockage sont les suivants : volume et hauteur de l'andain, localisation de l'andain (type de sol, distance vis-à-vis des habitations, des points d'eau, etc...), et pour l'épandage : localisation de la parcelle (distance vis-à-vis des habitations, des points d'eau), nature du sol, période d'épandage, etc...

- Estimation du coût

Le coût d'un chantier de compostage se situe entre 10 et 15€ / tonne de compost produit, sans tenir compte de l'aménagement de l'aire de compostage, de la mise en place des andains et de l'épandage du compost obtenu.

- Conclusion

L'intérêt agronomique, économique et environnemental du compostage est indéniable. Bien que cette transformation soit réalisée de façon assez fréquente par les producteurs de lavande et de lavandin, il existe encore des freins à son développement : nature des pailles (pour ceux qui ne font pas de vert-broyé), climatologie (faibles précipitations et vent fort dans certaines régions de production) et matériels nécessaires (retourneur d'andains, épandeur).

## **b. Les biomatériaux**

- Contexte et objectifs

Les éco-constructions sont en plein essor.

Dans ce cadre, le point essentiel consiste à utiliser des matériaux naturels, issus des ressources renouvelables et les moins polluants possibles. En effet, les matériaux de construction classiques sont de gros consommateurs d'énergie au niveau de leur élaboration, et ne sont à ce jour que très difficilement recyclables ou réutilisables.

Il existe déjà une petite filière de biomatériaux fabriqués à partir de pailles de céréales. Dans le même esprit, les pailles de lavande et de lavandin pourraient aussi être intégrées dans des biomatériaux.

- Le projet de construction du CRIEPPAM : un eco-bâtiment pilote

Le CRIEPPAM construira en 2009 un nouveau bâtiment pour abriter ses bureaux, en ossature bois, et dont les murs seront fabriqués à partir de paille de lavande et lavandin distillée. Cette expérience pilote va permettre d'acquérir des références sur les performances énergétiques de ce matériau.

Deux types de biomatériaux vont être utilisés dans ce projet : du béton banché fabriqué à partir d'un mélange contenant de la paille de lavande distillée et des liants, et de la paille de lavande distillée en vrac compressée.

En ce qui concerne le béton banché, des briques tests ont été fabriquées pour mesurer les capacités thermiques de trois mélanges (il s'agit de pourcentages en volume) :

- Brique 1 : 60% paille de lavande, 20% pierre ponce, 20% chaux.
- Brique 2 : 65% paille de lavande, 20% pierre ponce, 10% chaux, 5% plâtre briqueteur.
- Brique 3 : 50% paille de lavande, 16,6% pierre ponce, 16,6% chaux, 16,6% plâtre briqueteur.

Le laboratoire Thermoconcept a été chargé des mesures de performances énergétiques de ces briques.



**Photos 12a et b : mesure des performances énergétiques des briques**

La brique 1 n'a finalement pas pu être analysée car elle s'est totalement disloquée. Les briques 2 et 3 ont pu faire l'objet d'une mesure de leur conductivité thermique  $\lambda$  (quantité de chaleur passant par mètre carré dans une épaisseur de couche de matériau d'un mètre en une seconde, lorsque les deux surfaces présentent une différence de température d'un kelvin), de leur diffusivité thermique  $a$  (vitesse de pénétration et atténuation d'une onde thermique dans un milieu) et de leur capacité thermique volumique  $\rho c_p$  (quantité d'énergie qu'il faut apporter à un mètre cube d'un corps pour augmenter sa température de 1 kelvin). Voici les résultats de ces mesures :

	<b>Conductivité thermique</b> $\lambda$ en W/m.K	<b>Diffusivité thermique</b> $a$ en m.m <sup>2</sup> /s	<b>Capacité thermique volumique</b> $\rho c_p$ en MJ/m <sup>3</sup> /K
<b>Brique 2</b>	0,10	8,2	0,012
<b>Brique 3</b>	0,31	6,4	0,049

**Figure 15 : caractéristiques thermiques des briques**

Ainsi, l'échantillon qui contient le plus de paille et le moins de plâtre est celui dont la conductivité thermique est la plus faible, ce qui signifie qu'il sera plus isolant thermiquement. Le bâtiment sera donc construit avec la brique 2.

La paille de lavande en vrac a, quant à elle, une conductivité thermique  $\lambda$  de 0,055 W/m.K (source : Thermolavande®).

Concernant les briques, on reste dans des valeurs assez élevées si on les compare à un isolant « classique » type laine de verre ( $\lambda=0,04$ ). Cela signifie qu'il faudra multiplier par 2,5 l'épaisseur des murs si on veut atteindre le même niveau d'isolation. La paille en vrac est quasiment autant isolante que de la laine de verre.

Voici pour information la valeur de la conductivité thermique d'autres matériaux :

Matériaux	Conductivité thermique $\lambda$ en W/m.K
Laine de verre	0,04
Terre paille 300 kg/m <sup>3</sup>	0,10
Bois de chêne	0,16
Terre paille 800 kg/m <sup>3</sup>	0,25
Brique (terre cuite)	0,84
Béton	0,92
Verre	1,20

**Figure 16 : conductivité thermique de différents matériaux**

On peut ensuite calculer le coefficient de transmission surfacique U, qui est la quantité de chaleur qui traverse un mètre carré en une seconde, lorsque la différence de la température de l'air des deux côtés de la surface est de un kelvin. Il est de 0,33 W/(m<sup>2</sup>.K), avec la brique 2 et un mur de 30 cm d'épaisseur. Nous sommes bien en conformité avec la Réglementation Thermique 2005 (RT 2005), puisque les murs en contact avec l'extérieur doivent avoir un coefficient U<sub>max</sub> de 0,45.

Lorsque le bâtiment du CRIEPPAM sera construit (fin 2009), il fera l'objet d'études sur ses performances énergétiques, qui viendront étayer ces premières informations.

- Atouts et contraintes

Le béton banché fabriqué à partir de paille de lavande présente donc des caractéristiques intéressantes, et en conformité avec les exigences réglementaires actuelles.

Essayons maintenant d'estimer les quantités de biomasse absorbées par un bâtiment tel que celui du CRIEPPAM. Les murs représentent une surface d'environ 300 m<sup>2</sup>. Si l'épaisseur est de 30 cm, cela fait un volume de briques de 90 m<sup>3</sup>, soit 60 m<sup>3</sup> de paille. Si on considère une densité de 110 kg MS / m<sup>3</sup>, cela correspond à 6,6 tonnes de MS de paille, soit l'équivalent de la paille produite par la récolte de 3 hectares de lavandin.

Ainsi, l'utilisation de la paille de lavande distillée en tant que biomatériau, bien qu'intéressante techniquement, ne représente que des petits volumes à valoriser. Par ailleurs, l'utilisation de ces pailles dans des éco-constructions suppose l'utilisation de matériaux parfaitement séchés et conservés au sec, ce qui n'est pas le cas en pratique, même dans les distilleries qui fonctionnent en mode traditionnel.

## CONCLUSION

Cette étude a permis d'approfondir nos connaissances sur les caractéristiques physico-chimiques de la biomasse issue de la filière plantes à parfum, avec notamment la réalisation d'analyses spécifiques. Nous avons aussi estimé précisément les volumes produits par la filière, les volumes déjà valorisés, et nous avons ensuite émis des hypothèses sur l'évolution probable de ces quantités.

Ensuite, nous avons présenté les différentes valorisations envisagées, en insistant sur les atouts et les contraintes de chacune. Ainsi, il apparaît que la piste la plus intéressante pour la filière serait sans doute le développement des chaudières à biomasse, qui permet de valoriser énergétiquement la biomasse dans les distilleries, et de s'affranchir des évolutions toujours à la hausse des tarifs de l'énergie fossile. Nous avons montré que des technologies pouvaient correspondre aux besoins de la filière. Cette voie de valorisation sera approfondie par le CRIEPPAM en 2009, avec la réalisation d'études de faisabilité plus approfondies, et la réalisation de tests de combustion dans des installations existantes. La plupart des autres valorisations énergétiques envisagées ne correspondent pas aux besoins de la filière. Pour la valorisation non énergétique, le compostage continue d'être soutenu par les structures techniques, et l'utilisation de la biomasse dans les biomatériaux continuera d'être étudiée, au travers notamment du bâtiment construit pour abriter les bureaux du CRIEPPAM.

## TABLE DES MATIERES DES ILLUSTRATIONS

### FIGURES

Figure 1 : analyses de paille de lavandin distillée vert-broyé.....	6
Figure 2 : caractéristiques techniques de deux combustibles de référence.....	7
Figure 3 : estimation des quantités de pailles produites, par bassin de production .....	8
Figure 4 : Répartition de la paille produite par bassin de production .....	8
Figure 5 : estimation des pourcentages de pailles compostées, par bassin de production .....	10
Figure 6 : estimation des quantités de paille distillée disponibles.....	11
Figure 7 : répartition de la paille broyée disponible, par bassin de production .....	12
Figure 8 : répartition de la paille disponible, selon sa nature.....	12
Figure 9 : répartition de la paille en gerbes disponible, par bassin de production.....	12
Figure 10 : quantité de paille disponible, selon le pourcentage d'adoption de la technologie Espieur.....	13
Figure 11 : principe de la cogénération .....	17
Figure 12 : principe de la gazéification .....	20
Figure 13 : principe de la méthanisation .....	21
Figure 14 : valeurs agronomiques, en kg par tonne de produit brut.....	22
Figure 15 : caractéristiques thermiques des briques .....	25
Figure 16 : conductivité thermique de différents matériaux.....	26

### PHOTOS

Photo 1 : récolte traditionnelle en gerbes .....	4
Photo 2 : foyer à paille dans une distillerie traditionnelle.....	4
Photo 3 : récolte avec une ensileuse en broyé.....	5
Photo 4 : distillerie moderne .....	5
Photo 5 : prototype de récolte Espieur .....	5
Photo 6 : produit de récolte de l'Espieur .....	5
Photo 7 : distillerie biomasse en Espagne .....	16
Photo 8 : essai de fabrication de briquettes.....	18
Photo 9 : briquettes, fabriquées à partir de paille de lavandin .....	19
Photo 10 : essai de combustion de briquettes .....	19
Photo 11 : retourneur d'andain de compost.....	23
Photos 12a et b : mesure des performances énergétiques des briques.....	25

## BIBLIOGRAPHIE

ADEME, CRITT Bois, Fibois, CTBA – 2001 – Mesures des caractéristiques des combustibles bois

Chambre d'agriculture 26 - 2008 - Zoom 26 n°45 – Les pailles de plantes à parfum, aromatiques et médicinales : source de matière organique, source de vie pour les sols

ITEBE – 2003 – Bois Energie n 1 – Le point sur la gazéification de la biomasse

MARCON Yannick – AJENA – Bois Energie – 1998 – Foyer à grilles tournantes pour biomasse humide

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

[www.domaix-energie.com](http://www.domaix-energie.com)

[www.methanisation.info](http://www.methanisation.info)