

Projet de Physique P6
STPI/P6/2015 – 22

**Approfondissement du bilan carbone pour les
différentes options de la filière biomasse**



Etudiants :

Amélie Mabile

Camille Hautefaye

Claire Guilloteau

Noé Lafontaine

Tarek Al Jijakli

Enseignant-responsable du projet :

Dany Vandromme

Date de remise du rapport : 15/06/2015

Référence du projet : **STPI/P6/2015 – 22**

Intitulé du projet : Approfondissement du bilan carbone pour les différentes options de la filière biomasse.

Type de projet : Ce travail sera essentiellement une recherche documentaire et produira un document exhaustif de description de la filière.

Objectifs du projet :

Parmi les sources d'énergies renouvelables identifiées par le gouvernement pour mettre en œuvre la transition énergétique, il y a la combustion de la biomasse, au rang des énergies dites « décarbonées ». L'objet de ce projet est de donner une vue d'ensemble de cette filière, sous l'aspect de son bilan carbone, et de vérifier si elle mérite effectivement le label d'énergie contribuant à la réduction de l'émission des GES (Gaz à effet de serre).

Mots-clefs du projet : **Filière biomasse – Bilan Carbone – Énergie Renouvelable**

Table des matières

1.Introduction.....	5
2.Méthodologie / Organisation du travail.....	5
3.Travail réalisé et résultats.....	5
3.1.La filière biomasse.....	5
3.1.1.Description de la filière biomasse.....	5
3.1.2.Les centrales cogénérationnelles biomasse.....	7
3.2.Le bilan carbone.....	9
3.2.1.Définition.....	9
3.2.2.Facteurs pour calculer le bilan carbone.....	11
3.3.Viabilité écologique de la filière biomasse en France.....	14
3.3.1.Les énergies renouvelables, qu'est-ce que c'est ?.....	14
3.3.2.L'utilisation de la biomasse en France.....	14
3.3.3.Un exemple d'échec de centrale biomasse.....	15
3.3.4.Mais qu'en est-il de l'impact écologique de la filière biomasse sur l'environnement?	16
3.4.Viabilité économique et lois à propos de la biomasse.....	18
3.4.1.Exemple de la chaufferie Grammont à Rouen.....	18
3.4.2.Viabilité économique.....	20
3.4.3.Emplois.....	25
3.4.4.Loix à propos de la biomasse.....	25
4.Conclusions et perspectives.....	28
5.Bibliographie.....	31

1. INTRODUCTION

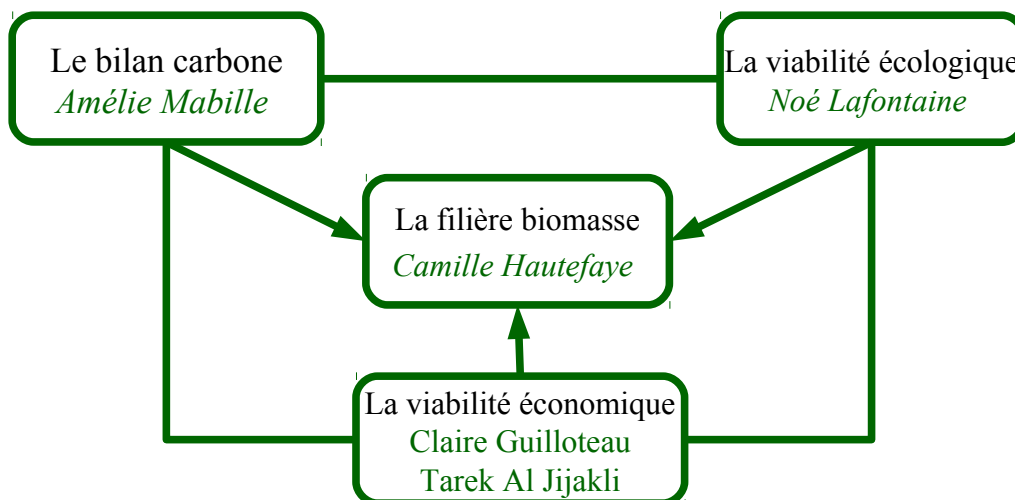
Le respect de l'environnement est devenu une priorité pour la société actuelle, pour laquelle la recherche de nouvelles sources d'énergie renouvelable est maintenant indispensable. Un second défi du XXI ème siècle est d'émettre le moins de CO2 possible dans l'atmosphère, afin de limiter l'effet de serre et par conséquent le réchauffement climatique, déjà beaucoup trop avancé. Pour cela, la création du bilan carbone a permis de contrôler l'impact environnemental de l'exploitation des différentes sources d'énergie, en termes de contribution à l'émission de gaz à effet de serre (GES). La diminution de la part des techniques énergétiques non respectueuses de l'environnement doit impérativement se faire en adéquation avec le développement économique du pays et ses ressources.

La biomasse, dont le bilan carbone est estimé nul ou presque, est une solution prônée par les gouvernements européens, notamment français, pour faire face aux enjeux environnementaux. Mais le calcul du bilan carbone de la filière biomasse est-il réellement en concordance avec la réalité ? La filière est-elle vraiment viable ?

Pour répondre à ces questions, nous allons étudier les principes de la filière, et approfondir le calcul de son bilan carbone, dans le but d'évaluer sa viabilité écologique et économique.

2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Nous avons défini trois axes de travail pour notre sujet ; le bilan carbone, la viabilité écologique, la viabilité économique. Puis nous avons travaillé chacun sur une partie ou sur un axe de travail, avec de nombreuses mise en commun et bilan pour avancer ensemble.



3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

3.1. La filière biomasse

3.1.1. Description de la filière biomasse

L'étymologie du mot biomasse constitue en elle-même une définition : "bio", issu du Grec Ancien "βίος", signifiant "vie" et "masse" qui vient du latin "massa" qui correspond à la "quantité de matière". La biomasse représente la matière organique d'origine animale et végétale. Une loi française définit la biomasse à travers l'article 19 de la loi "Grenelle 1" n°2009-967 comme : « fraction biodégradable des produits, des déchets et des résidus d'origine biologique provenant de l'agriculture (y compris les substances végétales et animales), de la sylviculture et des industries connexes, y compris la pêche et l'aquaculture, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux ».

On peut distinguer deux sortes de biomasse pour la filière énergie, la biomasse ligneuse et la biomasse fermentescible. La biomasse ligneuse correspond aux bois, déchets agricoles... elle est principalement utilisée dans les centrales de combustion. La biomasse fermentescible correspond à de la matière en décomposition comme le lisier, les déchets urbains, les composts, les boues de station d'épuration.. celle-ci est plus souvent transformée en biogaz.

La ressource en biomasse la plus utilisée et la plus ancienne pour la production d'énergie est le bois. C'est une ressource renouvelable incluse dans la biomasse ligneuse. En effet, une forêt reconstitue son stock de carbone sur une durée de 50 à plus de 200 ans. En France, une multitude d'entreprises s'occupe de l'exploitation forestière et de la valorisation du bois. Les troncs sont utilisés en tant que bois d'œuvre ou bois de chauffage. Et les grumes et branchages sont transformés en granulés pour être utilisés dans les centrales biomasses. Le bois est ainsi plus facilement transportable et son séchage est aussi simplifié.

On peut parler du cycle du bois, les arbres en croissance absorbent du gaz carbonique et stockent du carbone. Puis lorsqu'il se décompose ou qu'on le brûle, il rejette du dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

Mais il existe d'autres sources de biomasse que l'on peut convertir en énergie. En Mauritanie, par exemple, le GRET (ONG française de développement) a mis au point une technique permettant de fabriquer du charbon de typha (plante locale très envahissante) pour remplacer le charbon de bois et produire de l'énergie renouvelable et rentable.

Ces autres sources de biomasse ont bien souvent un pouvoir calorifique supérieur à celui des plaquettes de bois (2.89 kWh/kg), celui des graines de tournesol est de 5.56 kWh/kg, 4.40 kWh/kg pour le miscanthus (graminée asiatique).



Illustration 1: Différentes sources de biomasse

Le bois est principalement utilisé sous la forme de granulés. C'est ainsi qu'il a un pouvoir calorifique inférieur le plus important (4.90 kWh/kg). Le pouvoir calorifique inférieur correspond à la quantité de chaleur dégagée lors d'une combustion en considérant que l'eau est restée à l'état de vapeur dans les produits de la combustion. Pour beaucoup, l'objectif est de développer la production d'énergie à partir d'autres sources de biomasse que le bois pour avoir un meilleur rendement grâce à un meilleur pouvoir calorifique. De plus, il est plus facile de renouveler le stock de carbone des déchets ou pousses agricoles que du bois, l'échelle de temps est moins importante.

La biomasse fermentescible est exploitée dans une moindre mesure comparé à la biomasse ligneuse. Mais l'utilisation des fermentescibles pour la production d'énergie est en augmentation en France. En effet, ceux ci représentent des déchets envahisseurs, ils constituent donc un vrai enjeu énergétique. On voit apparaître dans les centres de stockages de déchets ménagers des unités de productions de biogaz.

Cela permet de recycler les déchets pour les transformer en énergie. Avec cette biomasse, nous n'avons pas besoin de replanter ou entretenir une filière, c'est la finalité d'une filière déjà existante, la filière des ordures ménagères. Avec le biogaz, les déchets sont valorisés. Ils ne sont plus source d'émission de polluants comme à l'époque où l'on incinérât tous les déchets.

3.1.2. Les centrales cogénérationnelles biomasse

La biomasse est la troisième source d'énergie renouvelable en France et la deuxième au monde. Contrairement à l'énergie solaire ou éolienne, elle n'est pas soumise aux aléas météorologiques. On peut valoriser de deux manières la biomasse pour en faire de l'énergie, par combustion simple ou méthanisation.

****Combustion simple***

Cette technique est utilisée pour produire de l'électricité, de la chaleur, ou les deux comme dans les centrales cogénérationnelles biomasse. Le bois, les déchets de bois, et les déchets agricoles (paille, canne à sucre...), c'est à dire la biomasse ligneuse sont les principales sources de biomasse utilisées. Les turbines sont mises en rotation par la vapeur produite par la chaleur issue de la combustion de la biomasse.

Cette méthode de production d'énergie présente de nombreux avantages, d'une part les sources de biomasse que l'on peut utiliser sont nombreuses, d'autre part les centrales peuvent être utilisées en cogénération. Enfin c'est une énergie renouvelable. Pour cela, il faut impérativement que des arbres soit replantés pour reconstituer le stock de carbone.

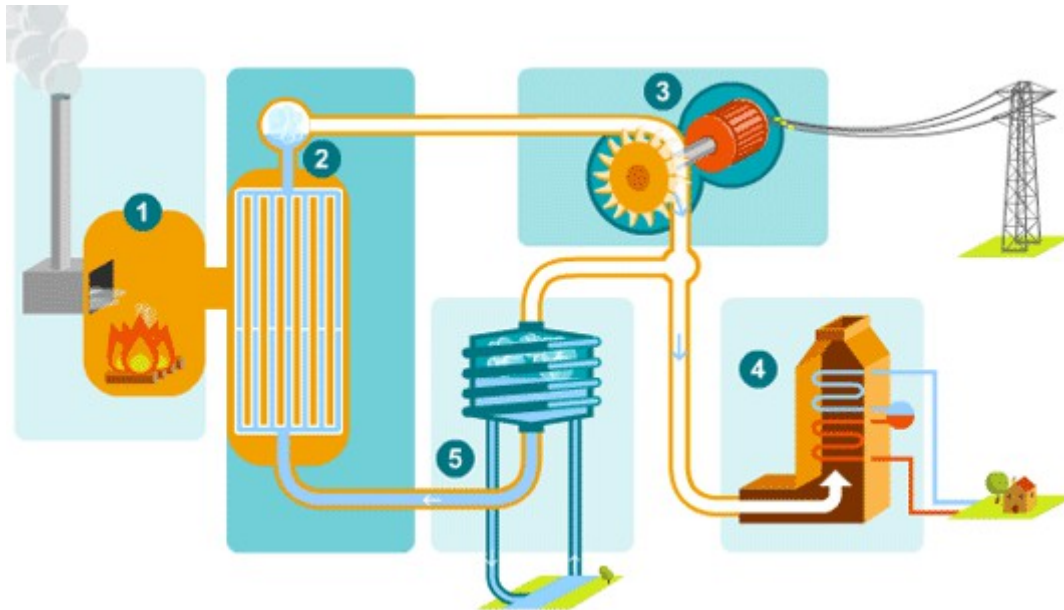


Illustration 2: Le fonctionnement d'une centrale biomasse

Fonctionnement :

1. Combustion de la biomasse dans une chambre de combustion
2. Production de vapeur grâce à la chaleur de la combustion
3. Production d'énergie par l'entraînement de la turbine par la vapeur
4. Utilisation de la vapeur pour le chauffage
5. Condensation du reste de la vapeur pour retourner dans le circuit

Dans les centrales biomasse, la vapeur est recyclée mais aussi les non-brûlés de la chambre de combustion.

On peut aussi utiliser la combustion de biomasse pour un chauffage domestique avec les poêles à granulés, même si le rendement énergétique approche les 70%, ils rejettent plus de particules dans l'atmosphère.

***La méthanisation**

Une partie de la biomasse, la biomasse fermentescible est transformée en biogaz très riche en méthane, par fermentation. Ce biogaz est ensuite brûlé et utilisé dans des centrales à gaz pour produire de l'énergie. Cette pratique utilise les déchets urbains, les boues des stations d'épuration, les lisiers, etc comme biomasse.

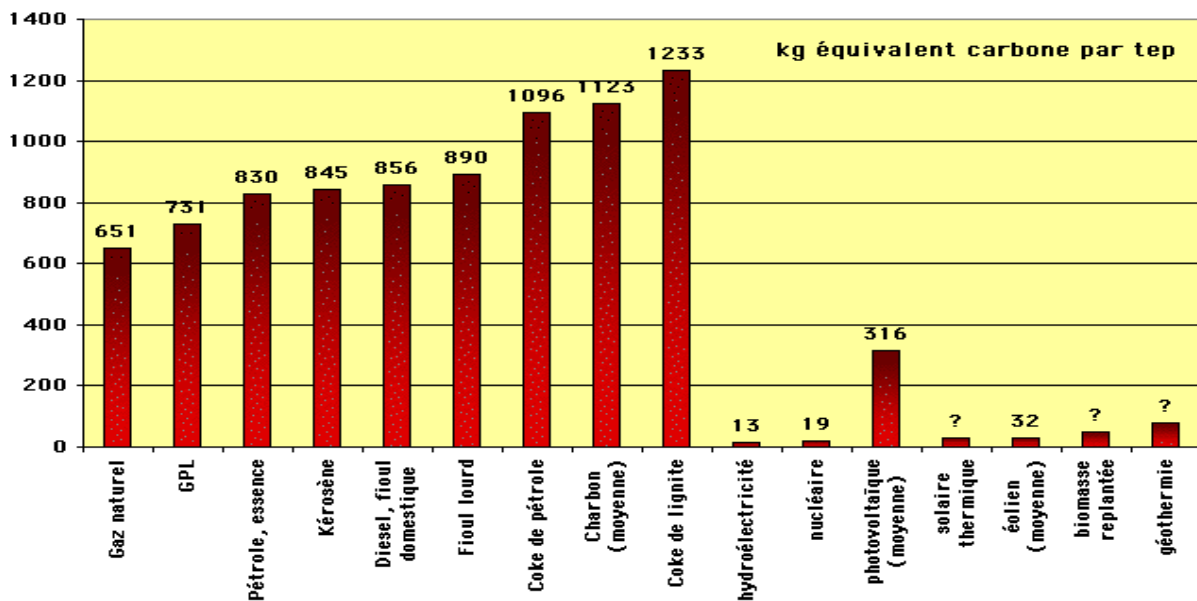
Ce processus de gazéification a un meilleur rendement énergétique que le processus de combustion. De plus, il limite l'émission de méthane dans l'atmosphère en brûlant ce gaz.

3.2. Le bilan carbone

3.2.1. Définition

Pour commencer, il est utile de préciser que toutes les activités humaines émettent des gaz à effet de serre.

Le gaz carbonique (dioxyde de carbone) est le principal gaz à effet de serre. Il est émis dès que nous brûlons des matériaux qui renferment ce dioxyde de carbone. Ces matériaux pouvant être des combustibles fossiles comme le charbon ou le pétrole mais aussi le gaz naturel ou le bois.



1 tonne équivalent pétrole (tep) = 11 600 kWh = 42 milliards de Joule

Ce schéma met en évidence que les matériaux qui émettent le plus de carbone lors de leur combustion sont les énergies fossiles tel que le charbon ou le pétrole. Concernant les énergies renouvelables, ce sont les panneaux solaires qui produisent le plus de gaz à effet de serre.

Les émissions de carbone peuvent être dues à plusieurs facteurs comme le transport, le chauffage, la production d'électricité. Ces émissions ne sont pas forcément directes. Par exemple, l'utilisation d'électricité n'émet pas de gaz à effet de serre mais ceux ci peuvent être

rejetés lors de la production d'électricité (centrales charbons par exemple). Cette émission est donc indirecte. Au contraire, le transport émet directement des gaz à effet de serre.

Ce sont ces différents facteurs qui sont pris en compte lors du calcul du bilan de carbone. Ils diffèrent pour les entreprises et les particuliers.

La méthode du bilan carbone permet de comptabiliser les émissions, directes ou indirectes, des gaz à effet de serre d'un site ou d'une activité. Elle nécessite des données qui sont facilement accessibles. L'inconvénient de cette méthode est que les données utilisées sont souvent approximatives.

Cette méthode a été développée par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie). Cette agence met en œuvre des politiques publiques pour l'environnement, le développement durable et l'énergie. Elle propose ses services d'expertise aux entreprises, aux collectivités locales et au grand public. Elle aide aussi au financement de projets.

Les gaz à effet de serre comptabilisés par le bilan carbone sont au nombre de six et ne comptent pas seulement le dioxyde de carbone. Ils n'ont pas tous le même impact et certains comptent très peu dans les émissions. Seuls les principaux sont pris en compte par le protocole de Kyoto. Les gaz identifiés par le protocole de Kyoto sont :

- le dioxyde de carbone (CO_2) : il représente 75% des émissions de gaz à effets de serre. Il est principalement émis par l'utilisation de combustibles fossiles pour l'énergie et la déforestation.
- Le méthane (CH_4) : il représente 15% des émissions. Il est produit par la décomposition des matières organiques et est principalement émis par l'agriculture.
- Le protoxyde d'azote (N_2O) : il représente 8% des émissions. Il est surtout émis par l'utilisation des engrais et du fumier.
- L'hexafluorure de soufre (SF_6), les halocarbures et perfluocarbures : gaz de synthèse utilisés comme réfrigérant.

Emissions de CO ₂ en g/ kWh électrique (analyse du cycle de vie)	
charbon	800 à 1050 suivant technologie
cycle combiné à gaz	430
nucléaire	6
hydraulique	4
biomasse bois	1500 sans replantation
photovoltaïque	60 à 150
éolien	3 à 22

Source : Jean-Pierre BOURDIER, [La Jaune et La Rouge de Mai 2000](#)

Avec ces chiffres, on peut se rendre compte que le secteur de la biomasse bois est celui qui rejette le plus de CO₂ dans l'atmosphère. En effet, ce secteur émet 1500 g/kWh électrique de CO₂. Cette valeur est vraie quand les acteurs du secteur ne replante pas le nombre d'arbres qu'ils ont brûlé. En effet, les arbres replantés permettront de capter le CO₂ dans l'atmosphère que les centrales biomasses ont rejeté.

On en déduit que sans ces replantations, l'expression « la biomasse est une énergie propre » est totalement fautive et c'est justement tout le contraire.

3.2.2. Facteurs pour calculer le bilan carbone

Comment calculer le bilan carbone de la filière biomasse : il est important de répertorier d'abord tous les facteurs qui libèrent des gaz à effets de serre.

On prend en compte toutes les étapes qui permettent au final d'obtenir de l'électricité. Ces étapes allant de la production des déchets organiques en passant par le transport ou le séchage des copeaux de bois par exemple.

Pour chaque étape avant la transformation en énergie, il faut identifier la consommation d'énergie et la traduire en quantité de biomasse obtenue.

- Production : on s'intéresse dans cette partie à la production des produits organiques qui donnent le gaz naturel. Souvent on utilise des déchets de l'agriculture. Or, l'agriculture est à l'origine d'émissions de CO₂ à travers plusieurs formes. Il y a tout d'abord l'utilisation d'engrais et leur transport. De plus, les agriculteurs utilisent souvent des intrants chimiques, à la place d'un désherbage manuel, qui relâchent dans l'air un gaz à effet de serre. Et enfin, on doit aussi prendre en compte le rejet de CO₂ des engins de mécanisation.

- Coupe et Transport: pour cette partie de la précombustion, il est plutôt question du secteur de la biomasse s'intéressant au bois. Pour ces deux étapes, les acteurs de la filière utilisent des machines relâchant des gaz à effet de serre. Que ce soit, les scies à moteur ou les tracteurs, machines et camions constitués de moteurs thermiques. pour calculer le bilan carbone, il faut aussi prendre en compte la distance parcourue et le volume de bois transporté par les camions.
- Séchage : Certains séchages sont artificiels et nécessitent donc l'utilisation d'électricité et de chaleur. Cette dépense est ensuite traduite en CO₂.
- Broyeur : utilisateur de broyeur par fente manuelle ou broyeur industriel. Dans ce dernier cas, il y a utilisation d'électricité et donc dépense de CO₂.
- Stockage : les bâtiments qui servent à stocker le bois ou les déchets organiques ont nécessité une dépense d'énergie pour leur construction. De même, le bâtiment utilise une certaine quantité d'électricité. Il faut aussi noter que les bâtiments durent plusieurs dizaines d'années. L'énergie utilisée tout au long du stockage convertie en émission carbonique comptée par le bilan carbone doit tenir compte de cette période de temps.
- Combustion : pour l'étape finale, qui est la transformation des copeaux de bois ou du gaz naturel en électricité, on prend en compte deux facteurs. Premièrement, l'utilisation d'électricité et de chauffage. Deuxièmement, la combustion du bois qui dégage du gaz carbonique. Il faut noter que cette combustion du bois est le principal facteur d'émission de gaz à effet de serre. En effet, les arbres de tout le globe renferment environ la moitié du dioxyde de carbone accumulé par les écosystèmes terrestres et lors de la combustion du bois, ce dioxyde de carbone est relâché dans l'air.

On peut voir que la biomasse représente un stock de 3 156 millions de tonnes de CO₂.

Stock de carbone forestier en France métropolitaine		
	Stock en tCO ₂ /ha	Stock total en M tCO ₂
biomasse	230 à 280	3 156
sol	130 – 290 ⁹	4 184

Cependant, cet émission due à la combustion de CO_2 est généralement captée par les autres arbres lors de la photosynthèse.

Tous les acteurs de la filière biomasse affirment que le bilan carbone des centrales biomasse est nul. Cependant, les employés de la chaufferie, que nous avons visitée à Rouen, nous ont appris que certaines étapes de la filière n'étaient pas prises en compte lors du calcul du bilan carbone. En effet, pour cette chaufferie, seules les étapes s'effectuant sur place étaient comptabilisées, c'est à dire le séchage, le stockage et la combustion.

On peut se demander si toutes les centrales de France font cet "oubli". Surtout qu'en faisant cet oubli, le bilan carbone n'est plus nul. Un article publié dans un livre de physique confirme cette hypothèse. En effet, ils affirment que la quantité de gaz à effet de serre produite par les intrants et les activités prenant place dans la centrale est supérieure à celle captée par la photosynthèse. Cependant, le bilan carbone reste quand même assez faible même s'il est représentatif seulement sur une échelle de 50 ans, le temps de la régénération des arbres qui sont replantés.

3.3. Viabilité écologique de la filière biomasse en France

3.3.1. Les énergies renouvelables, qu'est-ce que c'est ?

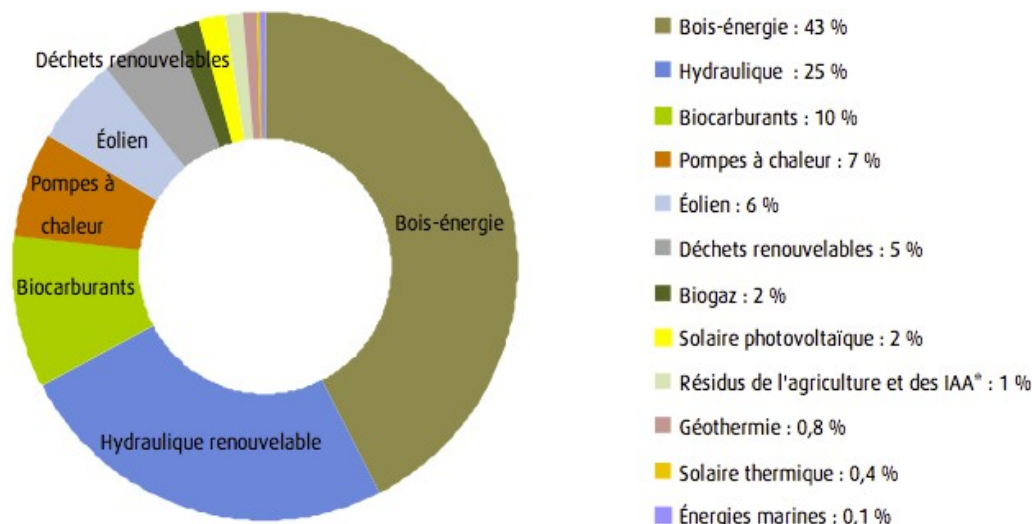


Diagramme des énergies renouvelables utilisées en France en 2014

On dit d'une énergie qu'elle est renouvelable si sa source a tendance à se renouveler rapidement à l'échelle d'une vie humaine. Certaines peuvent donc être qualifiées d'inépuisables.

En 2009, 10% de l'énergie produite au total en France venait de la biomasse. Celle-ci représente également 56% des énergies renouvelables produites en France. Elle représente donc une partie importante de la production énergétique française. Mais est-elle véritablement une énergie que l'on peut qualifier de renouvelable?

3.3.2. L'utilisation de la biomasse en France

La biomasse comprend 3 grandes familles: Le biogaz, les biocarburants et les bois énergie ou biomasse solide. Pour le cas de la France, 70% de la biomasse utilisée est de la biomasse solide, contre 24% de biocarburants et 6% de déchets, biogaz ou résidus agricoles. Environ 4 millions de tonnes de biomasse sont utilisées en France chaque année et concernant la biomasse solide, les forêts françaises sont parfaitement capables d'approvisionner les besoins en bois du pays. En effet, on ne récolte chaque année que 60% du bois total qui pousse dans l'hexagone et les forêts françaises ne cessent de s'étendre depuis 150 ans. Les forêts françaises recouvrent plus de 28% du territoire et peuvent fournir plus de 15 millions de tonnes de biomasse. La biomasse solide française a donc de beaux jours devant elle et de

nombreuses études affirment que la France sera autosuffisante au moins jusqu'à 2030 dans ce domaine. Il en est de même concernant les biocarburants et le biogaz, la France étant une grande puissance agricole. Les quantités de céréales servant à la conception des biocarburants ainsi que les résidus agricoles associés à la production de ces céréales sont donc conséquents. On pourrait donc être tenté de qualifier la biomasse solide d'énergie renouvelable. Mais il n'est malheureusement pas toujours possible de raisonner ainsi.

Cette énergie est en effet globalement renouvelable mais cela n'est pas forcément vrai à toutes les échelles. Pour illustrer mes propos, la centrale biomasse de Pierrelatte est un parfait exemple:

3.3.3. Un exemple d'échec de centrale biomasse

Suite à la fermeture d'une usine spécialisée dans l'enrichissement de l'uranium par diffusion gazeuse qui alimentait en énergie Pierrelatte et ses environs, il fut décidé de construire une centrale de cogénération biomasse. Elle avait pour objectif de brûler 150 000 tonnes de bois par an. Le budget de ce projet était de 55 millions d'euros et l'usine est exploitée par la société CORIANCE depuis le 4 Octobre 2012. Dès la mise en place du projet, la FRAPNA (Fédération Rhône-Alpes pour la protection de la nature) mettait en garde contre la dangerosité d'une telle politique méga-industrielle qui ne pouvait fonctionner sur le long terme. Il était en effet impossible pour le site de fournir une telle quantité de bois lui-même. Très vite, de nombreuses coupes sauvages ont été constatées dans la région qui comporte de très nombreux sites protégés NATURA 2000. De plus, pour pallier au manque de bois, CORIANCE a incité les propriétaires locaux de forêts à couper et vendre plus de bois que de raison en augmentant les prix du rachat à la tonne par rapport aux prix standards du marché. Cela a bien sûr eu pour effet d'engendrer des coupes massives dans la région.

Malgré cet abattage intensif, seulement 20 000 tonnes de bois sur les 150 000 prévues purent être utilisées pour le fonctionnement de la centrale lors de sa première année d'utilisation. Bien évidemment, il fallut compenser ce manque d'énergie et la solution choisie fut une chaudière au gaz et au fioul, ce qui est hautement néfaste pour l'environnement. Ces chaudières n'étaient pas prévues dans le plan initial de l'usine et furent donc installées après coup. Une fuite de 35 000 litres de fioul eut lieu dans la centrale, cela étant certainement en lien avec l'installation précipitée des chaudières. Et le pire reste à venir, car le bois ne repousse pas en un an! Plus le temps va passer, plus l'usine peinera à se faire fournir son bois localement. Elle devra donc importer du bois, avec tous les problèmes que cela soulève (pollution lors du transport, déforestation massive dans les pays tels que l'Amazonie...).

Qualifier le bois d'énergie renouvelable tiendrait donc du fait que l'on exploite cette ressource intelligemment. Une usine de taille bien plus modeste aurait certainement pu fonctionner uniquement avec du bois fourni localement. Il faut donc prendre garde à utiliser la biomasse

avec parcimonie et bien penser au contexte local avant de construire des installations utilisant cette ressource naturelle. Il est parfaitement possible de construire des usines de cogénération de biomasse totalement autonomes. Seulement il faut rester raisonnable et ne pas mettre en place des projets de tailles trop importantes. La création de nombreuses centrales de tailles modestes semble être la meilleure solution d'un point de vue environnemental sur le long terme même si cela semble plus coûteux d'un point de vue économique au premier abord.

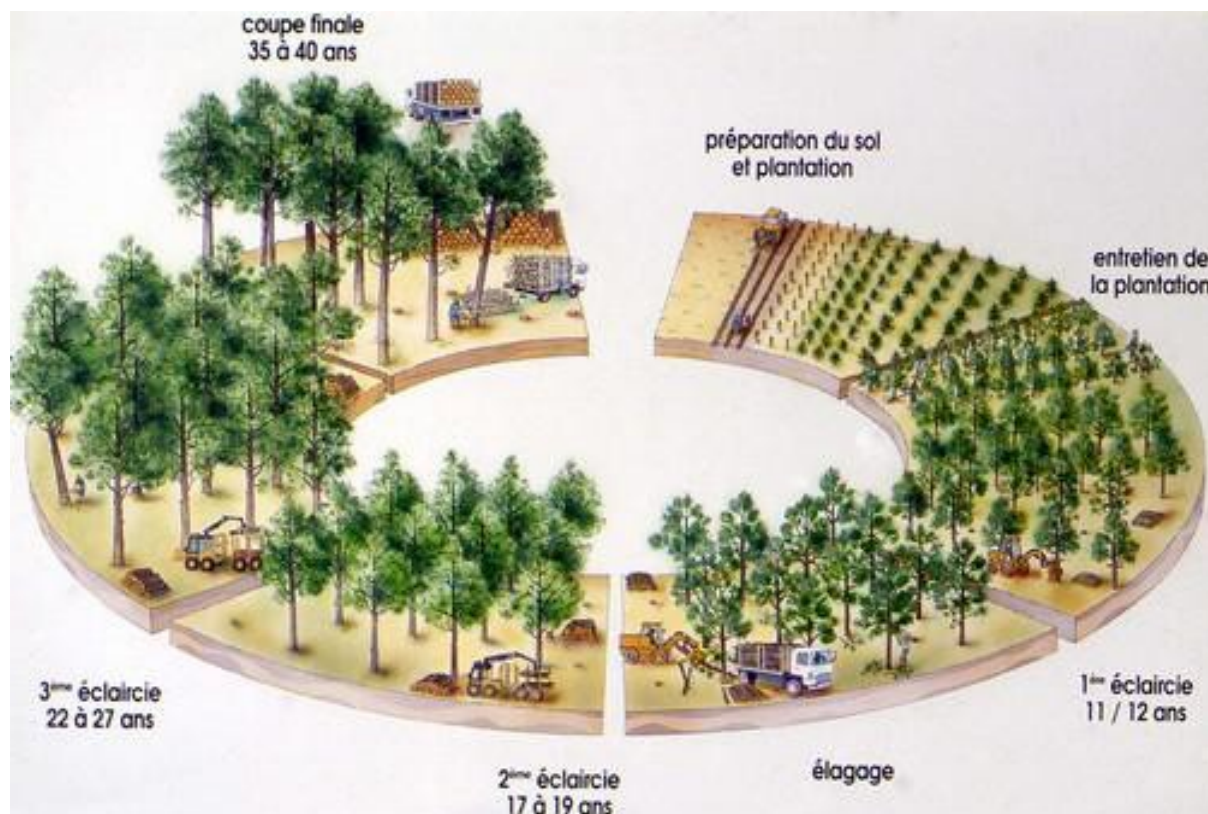


Illustration 3: Schéma du cycle de la biomasse solide, de la plantation à la coupe finale

3.3.4. Mais qu'en est-il de l'impact écologique de la filière biomasse sur l'environnement?

Tout d'abord, l'utilisation de la biomasse pour créer de l'énergie possède de nombreux avantages environnementaux. En effet, un arbre consomme une grande quantité de carbone durant sa vie. La quantité de carbone absorbée par année de vie varie selon l'espèce d'arbre et son emplacement mais un arbre consomme en moyenne un minimum de 5kg de CO₂ par an. Un arbre planté dans un milieu urbain peut absorber jusqu'à 4 fois plus de carbone qu'un arbre planté dans un milieu rural. Cela permet au bois de rejeter seulement 13 grammes de

CO₂ par kWh lors de la combustion si l'on prend en compte cette quantité de carbone absorbée par l'arbre durant sa vie avant l'abattage. Par exemple, le fioul lourd relâche 320 grammes et le charbon relâche 384. Si l'on ne prend pas en compte cette quantité de carbone absorbée, on passe à 355 grammes de CO₂ rejetés par kWh pour le bois. Ces données sont issues de la méthode 3CL, qui est l'une des 3 méthodes utilisées dans la réalisation des Diagnostics de Performance Énergétique. Les résultats peuvent varier d'une méthode à l'autre mais toutes les méthodes de calcul possèdent les mêmes ordres de grandeur selon les combustibles.

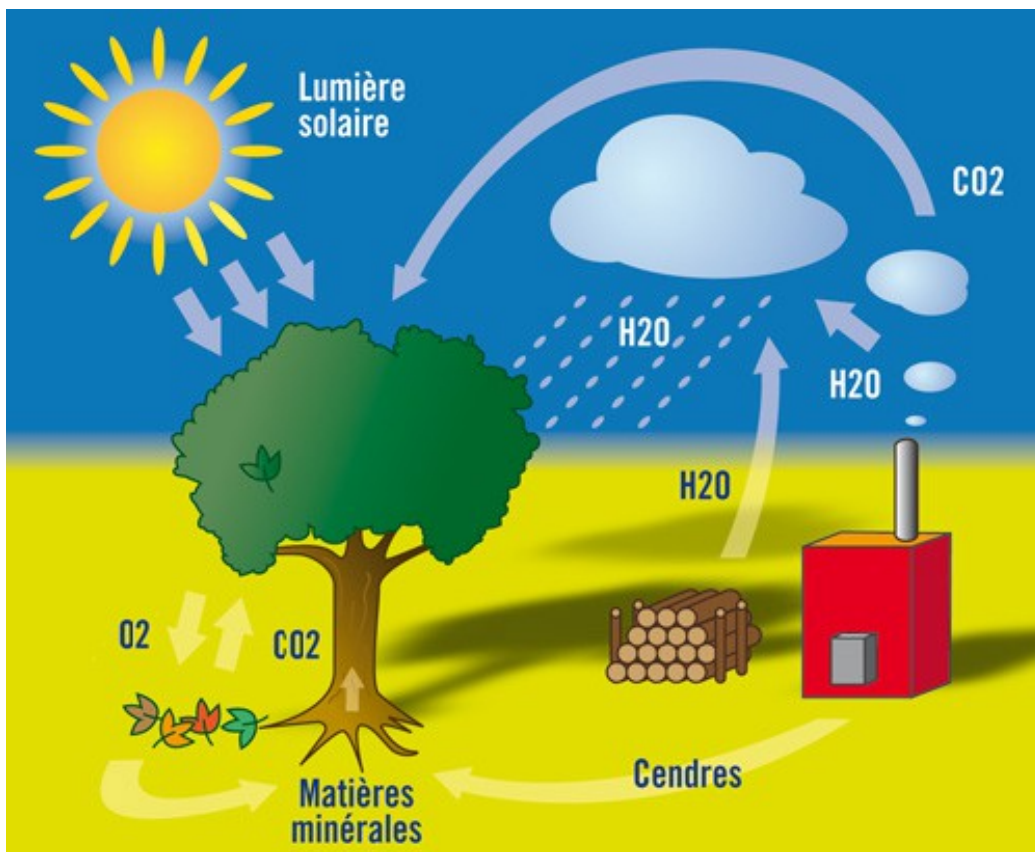


Illustration 4: Schéma du carbone lié à la biomasse solide

Mais être très peu polluant n'est pas le seul atout de la biomasse! Il est en effet possible d'utiliser les cendres produites lors de la combustion de cette dernière comme fertilisant pour l'agriculture ou sur des plateformes de compostage. La valorisation de la biomasse encourage de plus à entretenir les espaces boisés, ce qui est important notamment pour lutter contre les inondations, les tassements de terrains et la tenue des sols, la régulation hydrique des bassins versants, la biodiversité...

On utilise aussi la biomasse lignocellulique afin de créer des biocarburants de deuxième génération, qui ont la vocation d'être plus écologique que les carburants standards à base d'énergies fossiles. Les biocarburants produisent beaucoup moins de gaz à effet de serre et de toxines lors de leur combustion, ils paraissent donc meilleurs d'un point de vue écologique. Seulement, même si les matières premières utilisées pour leur production sont renouvelables, l'utilisation des pesticides et autres intrants nocifs pour l'environnement pour leur production posent un problème. Ils donnent cependant une alternative de production de carburants pour pallier la pénurie que le monde va devoir affronter durant les prochaines décennies.

3.4. Viabilité économique et lois à propos de la biomasse

3.4.1. Exemple de la chaufferie Grammont à Rouen

Le 26 mars 2015, M. Pascal VORANGER, ingénieur chef d'exploitation de la chaufferie Grammont, à Rouen, a eu l'amabilité de nous faire visiter son usine.

L'usine appartient à la filiale Dalkia (Groupe EDF) et dessert 25 clients uniquement professionnels dont la clinique Mathilde et une école. L'ensemble des clients qu'elle fournit est équivalent à un réseau de chaleur pour 1300 logements.

Elle est composée de plusieurs chaufferies : une chaufferie à bois d'une puissance de 4.8 MW, et une chaufferie au gaz et fioul d'une puissance de 1600 kW. La seconde joue un rôle d'appoint car 88% de la production est effectuée grâce à la chaufferie à bois. Une troisième chaufferie à gaz de 10 MW est disponible en cas de panne ou de problème avec celle à bois.

La consommation de bois de l'usine tourne autour de 7 000 tonnes par an, et comme pour toute usine de biomasse, le bilan carbone est quasi nul. M. VORANGER a précisé que les objectifs de son groupe sont de n'utiliser que du bois présent dans un rayon de 100km et de ne pas émettre de CO₂. Il faut également savoir que lors du calcul de leur bilan carbone, les industriels ne comptent pas les émissions dues aux camions qui transportent le bois, mais que ce facteur ne représente qu'environ 2% du total de consommation de la filière.

Nous allons maintenant nous intéresser à l'aspect purement économique, car M. VORANGER a accepté de nous communiquer les chiffres clés qui concernent son usine.

Tout d'abord, le coût de construction de l'usine est de 8 millions d'euros, et 40% du financement est issu d'aides de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) et de la région. L'ouverture a eu lieu en 2008, et l'amortissement de l'investissement est prévu sur 20 ans.

C'est une petite chaufferie comparée à d'autres dans la zone de Rouen, son chiffre d'affaires est de 1 million d'euros, avec 1 technicien.

La chaufferie à bois de 4.8MW a permis la création de 5 postes : 1 dans la chaufferie, 1 pour le transport, et 3 dans la forêt. Ce chiffre paraît assez faible, mais en réalité, sur place la chaufferie fonctionne automatiquement sans interruption, et une personne travaille de 8h à 17h en effectuant de la maintenance le plus souvent.

Lors de cette visite, nous avons appris un élément qui joue un rôle décisif dans l'étude de l'aspect économique de la filière biomasse. En effet, la filière biomasse bénéficie d'un avantage conséquent: la TVA est baissée à 5.5%, tandis que pour toutes les autres énergies, la TVA est à 20%. C'est ce qui permet à cette filière d'être compétitive .

Premièrement le matériel et les infrastructures liées à la filière biomasse sont plus chers que pour d'autres énergies. Par exemple, la chaufferie à bois de 4.8 MW a coûté 800 000 euros à l'usine de Grammont tandis que celle au gaz de 10MW a coûté 150 000 euros. De plus, en ce moment le bois est de plus en plus cher, son coût a augmenté de 30% en 5 ans. Dans le cas de l'usine de Grammont, les fournisseurs de bois spéculent car ils veulent garder leur bois pour fournir une future chaufferie concurrente sur la zone, avec un projet encore plus important.

Finalement, on estime que le bois est 20% plus cher que le gaz (sans les subventions et aides).

M. Pascal VORANGER nous a avoué que sans les subventions accordées et la diminution de la TVA, la filière biomasse ne serait pas rentable.

Actuellement, la filière biomasse revient 10% moins cher au client que le gaz, et pour le fioul l'écart est encore plus important. Le MWH issu du bois est vendu 29€ (auquel il faut ajouter un abonnement à l'année), tandis que celui issu du gaz se négocie entre 52€ et 55€.

Le responsable de la chaufferie de Grammont nous a révélé que son entreprise fait de très petites marges sur la filière biomasse. La filiale Dalkia maintient l'activité de cette

chaufferie pour deux principales raisons : l'envie de préserver et d'améliorer l'image de la marque, ainsi que l'obligation d'empêcher la concurrence d'occuper le marché seule.

Selon lui, la filière est rentable uniquement sur la durée et avec peu de profits. Les bénéfices sont dus aux subventions et à la TVA réduite. Sans cela, l'énergie issue du bois coûterait plus cher que le celle issue du gaz pour le client (ou alors, l'entreprise s'exposerait à des problèmes de marge).

La filière du bois énergie est amenée à stagner, c'était "une folie, une mode" depuis 10 ans, mais aujourd'hui les prix du bois ont fortement augmenté, à cause d'une mauvaise gestion du facteur très important que sont les forêts. En France, aujourd'hui, le bois énergie est arrivé à un seuil, et ne connaîtra plus une croissance comme celle observée depuis 10 ans. Il y a de moins en moins de projets de construction qui aboutissent, et de subventions accordées, notamment par peur d'une augmentation du prix du bois.

On en déduit donc que la biomasse est une filière très dépendante, et que l'engouement qu'elle a pu susciter ces dernières années en France semble souffrir de la possible future suppression des avantages (TVA+subventions) et de l'instabilité du coût de la matière première.

3.4.2. Viabilité économique

Coût de l'énergie biomasse et comparaison avec le prix des autres énergies.

Énergie	Pouvoir calorifique (PCI)	Prix TTC au kWh Entrée chaudière	Prix TTC au kWh Sortie chaudière	Rendement
Fioul	11,73 kWh / kg	8,55 c€	9,5 c€	90 %
Gaz naturel	15,71 kWh / kg	6,65 c€	7,39 c€	90 %
Bois bûche	3,36 kWh / kg 1 sterre = 1700 kWh	4,2 c€	5,3 c€	75 %
Plaquettes forestières	22 € / map 1 map = 250 kg / m ³ 3,36 kWh / kg	2,62 c€	3,28 c€	80 %
Granulé de bois	4,60 kWh . kg (seuil mini marque NF)	4,34 c€ (200 € / T)	5,11 c€	85 %
Agropellets domestiques	4,4 kWh / kg (seuil mini marque NF)	3,6 c€ (160 € / T)	4,23 c€	85 %
Agropellets industriels	4,1 kWh / kg (seuil	2,7 c€ (110 € / T)	3,37 c€	80 %

	minimarque NF)			
Propane	13,8 kWh / kg	13,17 c€	14,63 c€	90 %

Tableau 1: Tableau comparatif du coût des énergies en 2011

Quant à l'électricité, le prix comprend l'abonnement, la consommation (au kWh), les frais liés aux installations et les taxes. Les prix de vente sont différents suivant l'horaire de consommation (heures creuses et pleines) et l'origine de l'électricité (renouvelable ou non). Le prix du kWh d'électricité en 2011 dépassait légèrement les 11 centimes d'€.

Le classement de la rentabilité au coût des énergies pour le client est donc :

1. Bois
2. Gaz
3. Fioul
4. Electricité
5. Propane

Après avoir comparé les coûts de chaque énergie, intéressons nous maintenant à un facteur également très important : la stabilité de ceux-ci.

Le bois n'a pas le même prix et donc le même équilibre suivant la forme sous laquelle il est vendu (granulés, bûches, plaquettes, etc...) comme on l'a vu plus tôt. Certaines formes ont subi de très fortes hausses de prix, comme par exemple le granulé qui a connu une hausse de 79% pour parvenir à 250€ la tonne. D'autres, par contre, ont échappé à la flambée de leur prix de vente et en ont limité l'inflation. C'est le cas pour le coût des bûches, qui a, en moyenne (il y a des variations suivant les régions), augmenté de 29%.

Les prix du gaz, liés à ceux du pétrole, connaissent une forte augmentation de leur coût, notamment en raison des fortes tensions internationales. Entre 2007 et 2008, le prix du kWh a augmenté de 2 centimes d'€. Pour les mêmes raisons, il arrive parfois que les prix diminuent subitement comme entre 2008 et 2009. Comme pour l'électricité, le coût global du gaz pour le client regroupe l'abonnement, les installations et les taxes.

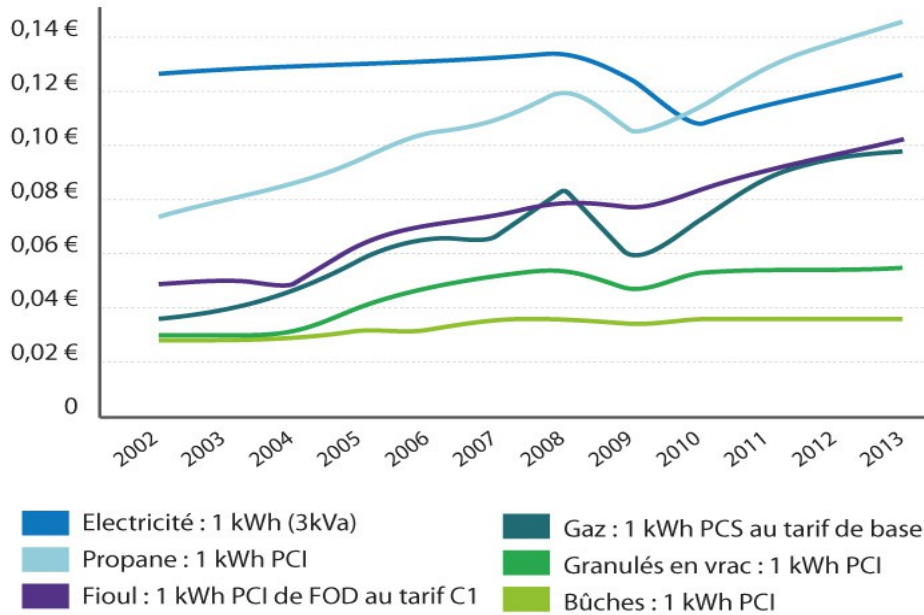


Illustration 5: Évolution du coût des énergies utilisées entre 2002 et 2013 au kWh

Le fioul est l'énergie qui a connu la plus forte augmentation de prix au cours des 10 dernières années avec 143%. Plusieurs facteurs entrent en compte dans la composition et l'évolution du prix du fioul. La crise et l'épuisement du pétrole (influant sur son prix) sont les principales explications à cette hausse exceptionnelle. L'offre et la demande de fioul sont différentes suivant les périodes de l'année. Ainsi, en hiver, la demande est plus forte et les prix augmentent tandis qu'ils diminuent en été.

En comparaison au fioul, l'électricité est une énergie relativement stable en terme de coût mais qui est de base beaucoup plus chère. Elle n'a pas connu d'augmentation de prix considérable mais constante et légère.

Coût des installations et subventions

Le tableau suivant (tableau 5A) est le détail des coûts des différentes installations pour construire une chaufferie à la biomasse d'une puissance de 1,1 MW. Au total, la construction de la chaufferie Grammont (4,8 MW) à Rouen a coûté 8 millions d'euros.

L'ADEME et la région proposent des aides au financement de telles installations. Ces subventions, intitulées "Fonds chaleurs : Soutien au développement de la chaleur renouvelable" ciblent les entreprises et collectivités de production de chaleur solaire,

thermique, géothermique ou à partir de biomasse. L'ADEME finance ainsi 20 à 40% du coût total des projets. Finalement, l'ADEME et la région fournissent en général une aide d'au maximum 50% du montant du projet.

L'état participe aussi au bien-être économique de la filière biomasse puisque la TVA appliquée sur la vente d'énergie d'origine biomasse est réduite à 5%.

Superficie chauffée : 5 000 m ²		Nombre d'unités	Coût/unité	Coût total	Projet (% du total)	vie utile anticipée (ans)	Coût moyen d'amortissement (\$/an)
Puissance brute : 1 100 kW							
• Entrepôt de la biomasse		(m ²)	(\$/m ²)	(\$)			
Adaptation d'un bâtiment							
Nouveaux bâtiments		987	30,00	29 600	6,6	30	987
• Système d'alimentation		(t)	(\$/t)				
Mécanique d'alimentation		4,0	5 500	22 000		10	
Réserve d'alimentation		5,0	2 750	13 741		20	
Sous-total ¹		9,0	3 973	35 741	8,00	14	2 582
• Réservoir d'hydroaccumulation		(L)	(\$/L)				
Achat et installation		100 000	0,35	35 000			
Adaptation au système d'appoint							
Sous-total				35 000	7,8	20	1 750
• Chaudière à la biomasse		(kW)	(\$/kW)				
Achat et installation		1 100	245	270 000	60,2		
Électricité et autres contingences			4%	10 800	2,4		
Sous-total				280 800	62,6	20	14 040
• Bâtiment pour la chaufferie ²		(m ²)	(\$/m ²)				
Nouveau bâtiment		39,6	500	19 800	0,044		
Adaptation du bâtiment							
Sous-total				19 800	4,4	30	660
• Système de contrôle et de gestion							
Adaptation au système en place				10 000	2,2		
Nouveau système							
Sous-total				10 000	2,2	20	500
• Réseau hydronique							
Adaptation du système présent				10 000	2,2		
Nouveau système							
Traitement d'eau (réservoir)		0,1%	20 \$/L	2 000	0,4		
Sous-total				12 000	2,6	25	480
• Services professionnels et autres ³							
Services professionnels			5,5%	23 262	5,2		
Permis et autres			0,6%	2 538	0,6		
Sous-total				25 799	5,8	20	1 290
Investissement							
Coût total				448 741	100	20	22 288

1. Autonomie avec un fonctionnement à 70 % de la puissance brute pendant 24 heures.

2. Le type de bâtiment choisi influence fortement le coût. Certains optent pour une structure de serre.

3. Peut fluctuer en fonction des services fournis (plans et devis, démarchage, études, etc.).

Illustration 6: Exemple d'évaluation des coûts des amortissements pour un projet de chauffage à la biomasse, 2011

Selon ECOREN (“bureau d’étude et d’ingénierie spécialisé dans la valorisation énergétique de la biomasse”), des installations biomasse ne sont rentables sur 5 à 7 ans que si 50% du coût du projet est financé par l’ADEME ou par la région.

M. Voranger de la chaufferie biomasse Grammont à Rouen estimait à 20 ans le temps de rentabiliser l’installation. La CRE (Commission de Régulation de l’Energie) estime à plus de 30 ans la durée de vie d’une chaufferie ou d’une centrale biomasse. Mais la durée d’utilisation de la centrale au-delà des 20 ans n’apporterait pas une grande augmentation de la rentabilité.

3.4.3. Emplois

En général, pour une centrale biomasse de 5MW, 5 postes sont créés, ce qui est relativement peu.

L’ADEME estime à 45000 les emplois associés à la filière bois énergie en France en 2010, pour une production de l’ordre de 13,5 Mtep, soit environ 3 emplois par GWh_{th}.

Le ministère du développement durable compte lui 60 000 emplois en France (en équivalent temps plein) dont 36 000 pour l’approvisionnement de la biomasse. La filière biomasse est pour lui un “enjeu économique et social” et “une véritable source d’emplois dans les zones rurales, notamment”.

3.4.4. Lois à propos de la biomasse

Lois déjà en vigueur

La politique française en matière d’énergie biomasse est regroupée dans deux différents codes qui relèvent de deux ministères : le Code de l’énergie qui appartient au ministère de l’énergie et le Code de l’environnement qui appartient au ministère de l’environnement.

Dans le code de l’énergie, des articles cadrent la production d’électricité à partir de biomasse dans des centrales. « *Les installations de production d’électricité sont soumises, préalablement à leur établissement, à un régime d’autorisation lorsque leur puissance installée est supérieure à 4,5 MW ou à un régime de déclaration lorsque leur puissance installée est inférieure ou égale à 4, 5 MW.* » Le régime d’autorisation est un régime

consistant à obtenir une autorisation sous forme d'arrêté préfectoral qui définit les dispositions à tenir lors de la production d'électricité. Le régime de déclaration est un régime qui consiste à déclarer la production d'électricité ainsi que tous les changements effectués sur l'exploitation. Le code de l'énergie permet au ministre en charge de l'énergie de procéder à des appels d'offres quand la production d'électricité d'origine biomasse ne répond pas aux critères définis dans les programmes et objectifs pour 2020 qui seront détaillés dans la partie suivante. Par ce code, les distributeurs nationaux d'électricité, comme EDF, sont tenus d'acheter l'électricité à un tarif prédéfini et réglementé.

Le code de l'environnement, lui, fixe des normes environnementales quant à la combustion de biomasse. De même que pour les installations de production d'électricité, et selon la puissance de combustion et de traitement thermique des déchets, une procédure autorisation ou déclaration est à effectuer.

Selon la loi aujourd'hui, il existe deux sortes de déchets biomasse : les "traités" et les "propres" qui ne peuvent pas être valorisés de la même façon. Les déchets traités, comme le bois traité, doivent obligatoirement être incinérés alors que les déchets dits "propres" peuvent être valorisés par combustion.

Perspectives d'avenir

Bien qu'elle joue un rôle assez important dans le monde actuel, la biomasse soulève quelques questions. La majorité voit en elle une excellente option pour la production d'énergie renouvelable, mais quelques problèmes restent à souligner. Lorsque l'on s'intéresse au témoignage de M. Pascal VORANGER, le chef d'exploitation de la chaufferie Grammont, on se rend compte de son pessimisme quand à l'avenir de la biomasse, du moins en France. Selon lui, l'organisation actuelle de la filière empêche l'investissement des entreprises, qui connaissent la faiblesse des marges dans ce domaine. Malgré la bonne volonté de l'État qui accorde des avantages à la filière biomasse, avec la baisse de la TVA et l'attribution de subventions, la chaufferie de Grammont et bien d'autres restent en difficulté. La principale raison serait la gestion des forêts (souvent privées), qui devrait être mieux encadrée.

Cependant, lors de son discours prononcé en ouverture du colloque national biomasse, le 1er juillet 2014, Ségolène Royal a réaffirmé son souhait de développer la production d'énergie à partir de biomasse. En effet, l'actuelle Ministre de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie a créé un projet de loi contenant 12 mesures de soutien pour développer la biomasse. On y trouve par exemple, le doublement sur trois ans du fonds

chaleur, qui permet à l'Ademe de contribuer au financement de projets de production de chaleur issue de sources renouvelables. En outre, l'État souhaite aider au déploiement de chaufferies collectives biomasse grâce à la création de prêts « transition énergétique et croissance verte ».

On voit donc que face au pessimisme de certains acteurs de la filière biomasse, l'État français réagit avec des ambitions et des projets conséquents censés pouvoir maintenir son développement. Mais il est probable que la bonne volonté de l'État ne suffise pas, et qu'une plus profonde réforme du système soit nécessaire.

Face à la question de l'avenir de la biomasse en France, nous avons cherché à savoir quelle est la situation de cette filière dans les autres pays Européens. Thomas Dalsgaard, vice-président de Dong Energy Thermal Power, l'une des principales entreprises danoises dans le secteur de l'énergie, a livré une interview très intéressante au magazine "BioEnergy Insight". Selon lui, la biomasse a un énorme potentiel qui n'est pas assez exploitée en Europe. Il souligne que, comme pour toute source d'énergie renouvelable, la biomasse doit disposer de réglementations précises quant aux infrastructures afin de réduire efficacement les émissions de CO₂ notamment. La filière souffre de l'absence de régulation internationale, et beaucoup de pays créent leurs propres structures et lois. Mais Thomas Dalsgaard encense les quelques organisations comme la Sustainable Biomass Partnership (SPB) qui contribuent à créer un système pour vérifier que les producteurs de la filière respectent les critères de compatibilité avec le développement durable. D'autres spécialistes du milieu à travers plusieurs pays européens tiennent le même discours, tout en soulignant le rôle primordial des politiques et gouvernements.

En Europe, on envisage donc une montée en puissance de la biomasse à l'avenir, mais celle-ci passera certainement par la création de réglementations précises. Si on imagine l'application de ces nouveaux règlements en France, on peut envisager une amélioration de la gestion de la matière première à travers les forêts, entraînant une meilleure compétitivité de la filière.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La biomasse est une source d'énergie difficile à exploiter de manière efficace et durable. Beaucoup d'erreurs de gestion ont été commises par le passé et l'engouement pour l'exploitation de cette énergie en France commence à s'essouffler. La mauvaise gestion de la privatisation des forêts est un frein supplémentaire à son développement. Cependant, cette filière possède l'avantage de ne pas créer des déchets que l'on ne sait pas recycler ou éliminer (à l'inverse du nucléaire ou de l'exploitation de l'énergie solaire par exemple).

Ce dossier aura tout de même mis en évidence que la biomasse n'est pas l'énergie aussi incroyable et propre que ce que le gouvernement et les gros lobbies veulent faire croire.

Concernant le bilan carbone de la biomasse, celui-ci est malheureusement loin d'être nul en France car la gestion du bois est très souvent mal effectuée et les arbres sont souvent coupés trop tôt (ce qui les empêche de capter une quantité de CO₂ optimale durant leur vie). Il faut cependant juger ce bilan carbone sur une échelle de 50-100 ans pour que celui-ci soit réellement représentatif. Mais même un bilan carbone faible reste excellent en comparaison d'autres moyens de production d'énergie (comme le charbon par exemple).

D'un point de vue économique, cette filière survit grâce aux subventions de l'état et à la TVA réduite. En conséquence cela lui permet d'être l'énergie qui revient le moins cher aux particuliers en France. Elle confère de plus une image écologique aux pays et entreprises l'utilisant. Cependant construire une centrale de cogénération de biomasse est un investissement sur le long terme, ce qui peut refroidir les actionnaires potentiels.

Malgré ces défauts, la biomasse reste une énergie renouvelable possédant de grandes capacités énergétiques. Cependant, sa non viabilité économique la rend difficilement exploitable à grande échelle. De plus, il sera impossible de compter uniquement sur elle dans le futur, son rendement n'étant pas assez élevé pour se passer de l'appui d'autres sources d'énergie. Il faut de plus s'efforcer de ne pas voir le bois comme seule source d'énergie viable liée à la biomasse. Les ressources alternatives telles que les déchets domestiques et agricoles sont encore trop peu exploitées, alors qu'elles renferment pourtant un grand potentiel.

Bilan Personnel

Noé Lafontaine : Pour ma part, je me suis occupé de la viabilité écologique de la filière biomasse ainsi que de la conclusion. Ce projet m'a permis de réaliser que les idées reçues de la filière biomasse ne sont pas toutes vraies, en particulier concernant le bilan carbone qui se revendique être toujours nul. Cela n'est malheureusement pas toujours vrai, surtout si les arbres sont coupés trop tôt et que l'importation du bois se fait sur un large périmètre. Cependant, je pense personnellement que cette filière pourrait être un atout en étant exploitée de manière plus raisonnable et écologique.

Claire Guilloteau : Ce projet a confirmé mon idée que la filière biomasse n'est pas si "propre" qu'on le prétend. Pour la partie économique, dont je me suis partiellement occupée, je n'avais aucune idée de la situation de la filière biomasse.

Quant à la visite de la chaufferie Grammont à Rouen, j'ai été surprise du pessimisme de M.VORANGER, et du fait que la situation était aussi critique économiquement parlant.

Pour mieux cerner le sujet, j'ai pu aller au salon Bois Énergie à Nantes le 20 Mars, où les exposants (vendeurs) étaient au contraire très optimistes.

Pour ma part, je trouve que nous avons assez bien géré la répartition du travail. Nous avons établi un calendrier pour nous fixer des objectifs et organisé des mises en communs pour que nos parties concordent.

Camille Hautefaye : Avec ce projet, j'ai entièrement découvert la filière biomasse. Je ne connaissais pas ce moyen de production d'électricité. C'est pourquoi je souhaitais m'occuper de la description de la filière biomasse, je voulais comprendre les enjeux de cette filière. Au premier abord, cette méthode me paraissait tout à fait convenable et s'inscrivait dans une démarche en accord avec le développement durable. Puis en approfondissant mes recherches, et en discutant avec mes camarades et le professeur lors de nos nombreuses mises en commun, j'ai remarqué qu'il existait de nombreuses conditions pour que l'énergie produite à partir de la filière biomasse soit une énergie renouvelable. En effet, c'est une filière difficile à exploiter durablement. De plus, une réflexion et des recherches assez approfondies ont été nécessaires pour bien sélectionner nos sources. Effectivement, de nombreux acteurs de la filière biomasse se contredisent, leur intérêt, et donc leur avis peuvent diverger. Pour ma part, je pense que c'est une exploitation dangereuse pour les forêts qui ne seront jamais gérées durablement. Il faudrait orienter la production d'énergie à partir d'autres sources de biomasses, jugées envahissantes (comme le typha en Afrique).

Amelie Mabile : Ce projet m'a vraiment permis de mieux comprendre la filière de la biomasse. Je me suis occupée de la partie sur le bilan carbone et je me suis rendue compte que

le bilan carbone de cette énergie n'était pas nul. Je pense que la biomasse peut quand même être une énergie renouvelable d'avenir si elle est mieux gérée. Je pense que nous nous sommes bien répartis les parties et que nous avons réussi à travailler ensemble en faisant des mises en commun régulièrement. Pour ma part, le principal inconvénient que j'ai rencontré est le manque d'informations sur le bilan carbone de la biomasse.

Tarek Al-Jiakli : Ce projet m'a permis de comprendre tous les enjeux autour de la filière biomasse. Selon moi, notre gestion du travail en groupe a été idéale. Chacun s'est chargé de la partie qui l'intéressait le plus, et les séances de TD nous permettaient des mises en commun régulières. Les recherches, que j'ai effectué avec Claire, pour la partie économique m'ont permis de comprendre les raisons pour lesquelles les entreprises du secteur continuent leurs activités dans la filière malgré sa faible rentabilité financière actuelle. Une des principales difficultés de notre partie résidait dans la difficulté d'accès à l'information : les entreprises n'affichent évidemment pas leur situation économique dans les médias. Et sur Internet, les sites qui s'intéressaient à l'aspect économique ne donnaient que des informations pour les particuliers. Il a donc fallu chercher plus loin, avec notamment la visite de la chaufferie Grammont à Rouen, et des échanges avec des professionnels.

5. BIBLIOGRAPHIE

Webographie :

- Énergie renouvelable ; http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_renouvelable (05/02/2015)
- La biomasse : une énergie d'avenir ? ; <http://www.mtaterre.fr/dossier-mois/archives/chap/846/La-biomasse-une-energie-d-avenir-> (10/03/2015)
- Biomasse ; <http://activites.edf.com/production/hydraulique-et-energies-nouvelles/biomasse/chiffres-cles-40650.html> (23/02/2015)
- La biomasse en France : chiffres clés écrit par Syndicats des Énergies renouvelables ; http://www.nextenergies.com/media/e-documentation/ressource-biomasse/ser_chiffres_cles_biomasse_2010.pdf
- Le biocarburant ; <http://www.energienouvelable.fr/biocarburant.php>
- Impacts environnementaux du bois énergie ; http://www.biomasse-normandie.org/impacts-environnementaux-sociaux-bois-energie-impacts-environnementaux-bois-energie_276_fr.html
- Les émissions de CO₂ par énergie ; <http://www.economiedenergie.fr/les-%C3%A9missions-de-co2-par-%C3%A9nergie.html>
- Qu'est ce que la biomasse ; <http://jeunes.edf.com/article/la-production-d-electricite-a-partir-de-la-biomasse,189>
- Comment fonctionne une centrale biomasse ? ; <https://www.lenergieenquestions.fr/comment-fonctionne-une-centrale-biomasse/>
- L'énergie biomasse, une énergie renouvelable ; <http://www.electricite-et-energie.com/lenergie-biomasse-une-energie-renouvelable/>
- La biomasse : présentation générale ; <http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-biomasse-presentation-generale.html>
- Promotion de l'utilisation du charbon de Typha, Mauritanie ; <http://www.gret.org/projet/promotion-de-lutilisation-du-charbon-de-typha-mauritanie/>
- Tout savoir sur les prix des énergies : électricité, gaz, fioul, pellets, bûches ; <http://www.quelleenergie.fr/prix-energie>
- La biomasse combustible ; <http://base.d-p-h.info/fr/fiches/dph/fiche-dph-7410.html>

- les combustibles biomasse ; <http://www.ragt-energie.fr/fr/biomasse/combustibles-biomasse.php>
- L'évaluation économique d'un projet de chauffage à la biomasse ; http://www.spsq.info/spsq_fichiers/files/fiche_parametres_economiques_biomasse.pdf
- L'ADEME finance vos projets ; <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/plaquette-ademe-aides-financiere-8377.pdf>
- La biomasse : la première source d'énergie en France ; http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/5_-_Annexe_-_La_biomasse_cle51a642.pdf
- Bois énergie ; <http://www.ecoren.fr/FAQ/rentabilite-cogeneration-biomasse-bois.php>
- Le calcul du bilan carbone ; <http://www.sequovia.com/le-calcul-du-bilan-carbone.php>
- Le bilan carbone ; http://www3.ademe.fr/bretagne/actions_phares/energie_maitrise/bilan-carbone.asp
- Bilan carbone entreprise, en 2015 renforcez votre entreprise ; <http://www.a2dm.fr/bilan-carbone.htm>
- Un outil pour connaître les émissions de gaz à effet de serre d'une entreprise ou administration : le "bilan carbone" de l'ADEME ; http://www.manicore.com/missions/bilan_carbone.html
- Bilan carbone et bilan des émissions de gaz à effet de serre ; <http://www.lamy-environnement.com/bilan-carbone.html>
- Bois-énergie : le chauffage par la biomasse ; <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dossiers/d/maison-bois-energie-chauffage-biomasse-1608/page/21/> (10/03/2015)
- Comment établir le bilan CO₂ des filières biomasse-énergie ; <http://www.riaed.net/?Comment-etablir-le-bilan-CO2-des>
- La méthode bilan carbone ; http://www.ecopartners.fr/pdf/Bilan_Carbone.pdf
- Biomasse énergie ; http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Biomasse_energie.pdf (page 8)
- Énergies renouvelables : 12 mesures de soutien pour développer la biomasse ; <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Energies-renouvelables-12-mesures.html>

Bibliographie :

- Supports de cours d'agrorologie
- *Industry voices*, Thomas Dalsgaard-Thomas Beck-Max Aitken-Micheal Corten, pages 20 à 27, **Bioenergy Insight**, janvier/février 2015.

Source image :

<http://www.google.fr/imgres?imgurl=http://esinature.files.wordpress.com/2012/05/cycle-de-vie.jpg&imgrefurl=http://www.hargassner.ca/fr/biomasse>.

<http://dr-petrole-mr-carbone.com/wp-content/uploads/2014/10/partENR.png>

<http://www.ecoco2.com/blog/466-la-biomasse-represente-plus-de-la-moitie-des-energies-renouvelables-en-france>

