

Le bois peut-il occuper une plus grande place parmi les énergies renouvelables ?

En 2017, selon l'IEA, 14,0% de l'énergie primaire produite dans le monde était issue d'énergies renouvelables (ER)*, dont 70% à partir de la biomasse, en particulier le bois. En France, les énergies renouvelables représentent 19,6% de la production primaire d'énergie, dont 59% sont de la biomasse et 39% sont du bois qui est ainsi la première source d'énergie renouvelable.

Jusqu'au 18^{ème} siècle il a été la principale ressource énergétique avant d'être remplacé successivement par le charbon, puis les hydrocarbures liquides et gazeux : pétrole et gaz naturel. Les problèmes environnementaux, en particulier le réchauffement climatique, vont imposer le bois qui peut être à l'origine de différentes formes d'énergies renouvelables.

Les biocarburants

Parmi les énergies renouvelables les biocarburants se sont beaucoup développés fin des années 2000. Actuellement on parle de trois générations de biocarburants :

Les biocarburants de première génération, le bioéthanol produit à partir de canne à sucre, de céréales et de betterave sucrière ; le biodiesel issu d'acides gras (huiles végétales) transestérifiés. Ces biocarburants produits actuellement à l'échelle industrielle entrent en concurrence avec l'alimentation humaine ou animale et leur développement a été stoppé.

Les biocarburants de deuxième génération dont les procédés de production industrielle sont en cours de mise au point et développement (pour certains en cours de renaissance !) consommeront les matières premières lignocellulosiques non utilisés dans la production alimentaire. Parmi ces matières premières, le bois, ses sous-produits de transformation et ses produits en fin de vie sont appelés à être utilisés pour la production de bio-carburants, solides, liquides et gazeux tels que le charbon de bois, le bioéthanol, le biodiesel, le bio-fuel, le bio-méthane, le bio-hydrogène, sans concurrence alimentaire. Leur production à grande échelle est prévue à l'horizon de la prochaine décennie, soit sous forme liquide dans le domaine de l'aviation, soit sous forme d'hydrogène pour le transport routier.

Les biocarburants de troisième génération où les procédés, encore à l'étude, s'appuient principalement sur l'utilisation de microorganismes tels que les micro-algues pour la production de biodiesel, bioéthanol ou biogaz par méthanation.

Les voies de valorisation énergétique du bois sont avant tout thermochimiques : la combustion, la pyrolyse/carbonisation, la gazéification et plus récemment la liquéfaction qui est pour le moment un procédé développé uniquement au stade laboratoire. A ces voies thermochimiques, on peut ajouter la voie biochimique d'hydrolyse/fermentation pour la production de bio-éthanol et de quelques alcools supérieurs. Nous disposons actuellement de toutes les connaissances de base pour passer au stade des procédés et pour la plupart des voies, ils sont déjà au point. Un résumé complet est donné par IEA Bioenergy Task 39 <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2019/10/07/commercializing-conventional-and-advanced-transport->

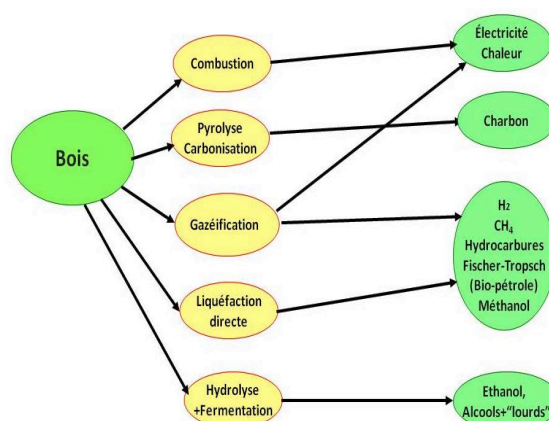
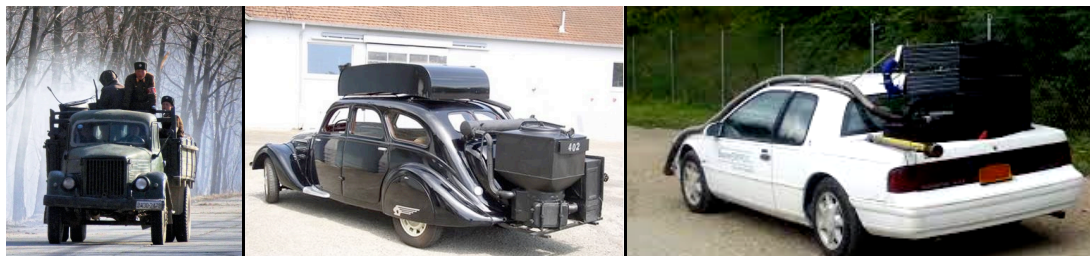


Figure 1. Les voies de valorisation énergétique du bois

Un peu d'Histoire : Le bois a été jusqu'au début du 19^{ème} siècle la principale source d'énergie dans le monde. S'il a été abandonné au profit tout d'abord du charbon, puis du pétrole, il représente encore la matière première énergétique principale de nombreux pays d'Afrique centrale, en particulier avec le charbon de bois à usage domestique.

La Gazéification a été mise en œuvre surtout pendant les périodes de crise (1^{ère} et 2^{ème} guerres mondiales, chocs pétroliers), à partir de 1910, principalement pour le transport. De nombreux constructeurs ont existé (un des premiers fut IMBERT), pour produire des gazogènes sur camions ou véhicules particuliers. Plus récemment ce sont des installations fixes de production d'électricité avec des gazogènes fixes et moteurs à gaz pauvre, qui ont été commercialisées par de nombreuses sociétés.

Figure 2.
*Quelques
gazogènes sur
véhicules (à g.
camion nord-
coréen (1974)*



Le développement industriel de la production d'éthanol à partir de l'hydrolyse du bois à l'acide chlorhydrique (Procédé BERGIUS) correspondait également à une économie de guerre, en Allemagne. C'est en URSS, durant 75 ans, que la production a été la plus importante. Le procédé d'hydrolyse du bois à l'acide sulfurique a été mis au point en 1930 à l'Académie Forestière de LENINGRAD par V.I.SHARKOV. Jusqu'à 8 Mm3/an de bois (80% de résidus), ont été utilisées dans une vingtaine d'usines pour produire de l'ordre de 1,5Mt d'éthanol.

Les différents procédés de conversions énergétiques.

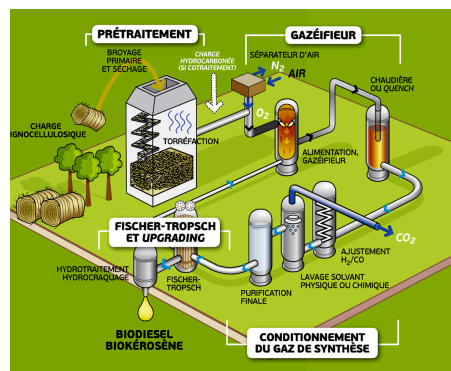
Deux grandes catégories existent, **les procédés biochimiques, par voie humide** ou biotechnologique et ceux par voie sèche ou thermochimique. **Les procédés biochimiques par voie humide** conduisent à l'obtention principale d'éthanol et de quelques alcools supérieurs. Ce sont des procédés à deux étapes, la première consistant à hydrolyser le bois (des sous-produits d'exploitation forestière relativement humides), en particulier la cellulose et les hémicelluloses, pour obtenir des sucres à 5 ou 6 carbones fermentescibles. Comme nous l'avons vu plus haut l'hydrolyse était jusqu'à présent une hydrolyse acide, mais maintenant elle se fait par voie enzymatique. Pour favoriser cette hydrolyse on doit procéder à un prétraitement (voir fiche « Quelle place pour le bois dans la chime verte ? ») pour rendre accessible les constituants principaux sans trop modifier la lignine. La seconde étape est une fermentation sous deux formes : i) La fermentation alcoolique permettant de transformer les sucres en éthanol ; ii) La fermentation acéto-butylique qui permet, sous l'action de bactéries particulières, de produire un mélange de butanol, d'acétone et d'éthanol. Ce mélange avait été envisagé, il y a quelques années, comme carburant à haut indice d'octane.

Le pilote FUTUROL, dans l'est de la France, transformant des ressources lignocellulosiques en éthanol et produisant 180 000 tonnes d'alcool/an par fermentation alcoolique a été mis en sommeil.

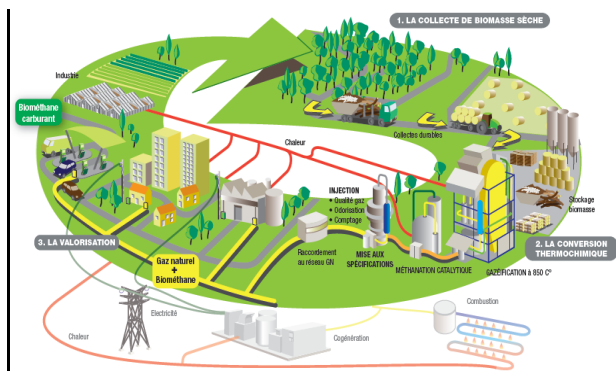
Les procédés thermochimiques sont ceux qui s'appliquent le mieux à des matériaux relativement secs, comme le bois, ses sous-produits de transformation industrielle, ses produits en fin de vie, sous toutes leur formes, rondins, copeaux, sciures. On doit noter que l'étape principale gouvernant toutes les conversions thermochimiques est la pyrolyse qui est également un procédé sous le nom de carbonisation. Notons également que pour la plupart des procédés thermochimiques, hors combustion, on peut admettre la conversion moyenne suivante : 1 tonne de bois donnerait au maximum 0,3 TEP.

De nombreux projets sont en cours en France et en Europe notamment pour produire des vecteurs énergétiques à partir de gazéification de biomasse. Pour la France, on peut notamment citer les projets GAYA (production de méthane), BioTFuel (Biocarburants) et LERMAB (cogénération et H₂). En Europe le projet COMSYN de production de bio carburant par pyrolyse rapide suivie de Fisher-Tropsch est en cours de validation au VTT

<https://www.vttresearch.com/media/news/complete-production-chain-from-biomass-residues-to-fischer-tropsch-products-successfully-validated>

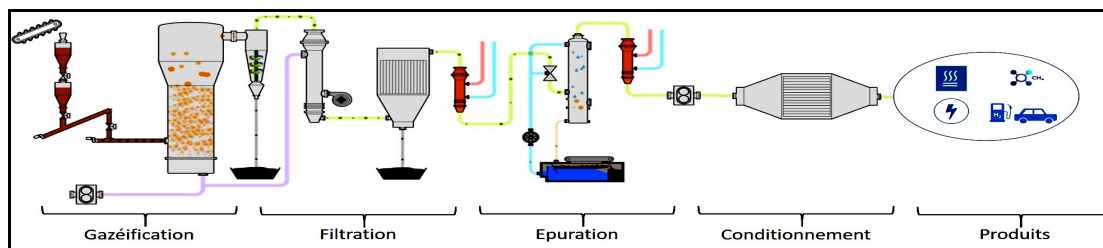


Projet BioTFuel



Projet GAYA

Figure 3.
Projets
thermochimiques



Projet LERMAB

Les **conversions thermochimiques** se subdivisent en combustion et co-combustion (en excès d'air), pyrolyse (en l'absence d'air), gazéification (en défaut d'air, et éventuellement en présence de vapeur), et liquéfaction directe (en présence de gaz réducteur). La **combustion** ($T \sim 1\,200^{\circ}\text{C}$) est le mode de conversion le plus ancien et le plus employé, tant pour les utilisations domestiques qu'industrielles. Son rendement est bon dans la mesure où le bois est suffisamment sec (humidité inférieure à 35 %). La **pyrolyse** permet de transformer le bois (humidité inférieure à 10 %), en divers combustibles à haut PCI, donc stockables, sous forme gazeuse, liquide et solide (le charbon de bois). Elle se déroule à des températures comprises entre 400 et 800°C. La répartition entre gaz, liquide et solide dépend du niveau de température, de la vitesse de montée en température et du temps de séjour dans le réacteur. La **gazéification** du bois ($T \sim 800^{\circ}\text{C} - 1\,000^{\circ}\text{C}$) est obtenue en réalisant une combustion en défaut d'air en deux étapes : la pyrolyse donnant les phases gazeuse, liquide et solide suivie de la gazéification de la phase solide avec apport d'oxygène, de H_2O et/ou de CO_2 . La phase liquide représente les goudrons inhérents à ce procédé. Cette gazéification produit un gaz dit "pauvre" (1 à 2 kWh/m³ contre 10 kWh/m³ pour du méthane). En remplaçant l'air par de l'oxygène, et (ou) de vapeur d'eau, on obtient un gaz de synthèse ($\text{CO} + \text{H}_2$) utilisable pour la méthanation (production de CH_4), le reformage (production de H_2) ou pour la synthèse d'hydrocarbures (essence ou diesel) par le procédé Fischer-Tropsch ou de méthanol appelé également « alcool de bois ».

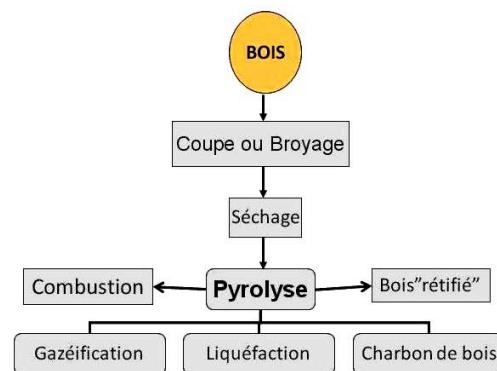
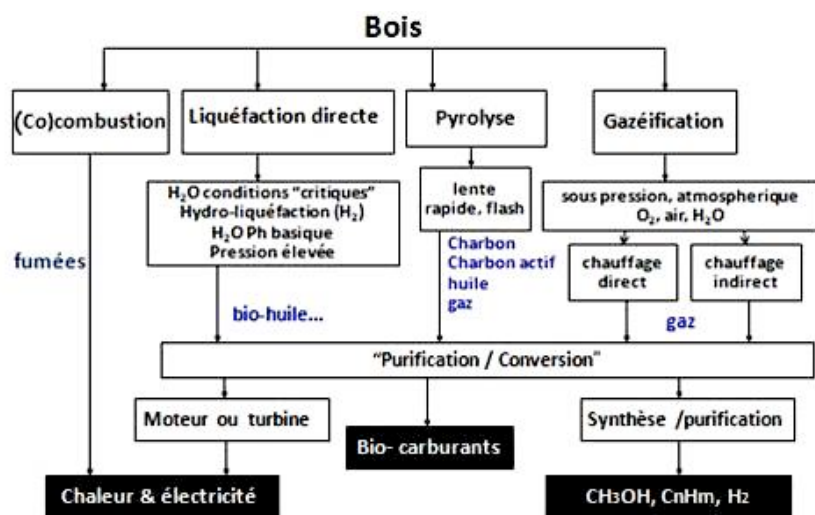


Figure 4. Les procédés thermochimiques

La **liquéfaction directe** consiste à mettre en suspension du bois divisé dans de l'eau en présence d'un "catalyseur" le carbonate de sodium, sous pression (150 à 200 bar) de monoxyde de carbone, et à des températures de 250 à 450°C. Le produit obtenu est une huile équivalente à un fuel lourd, avec un rendement matière proche de 40%. Ce procédé est avantageusement remplacé par la pyrolyse rapide vers 500°C, procédé hollandais Btg-Btl <https://www.btg-btl.com/en/>

Volume et type de ressource permettant de limiter l'émission de gaz à effet de serre (GES).

En France, le volume de bois théoriquement disponible devrait être proche de 30 Mm³, non récoltés, sans toucher aux quantités utilisées actuellement en bois d'œuvre ou d'énergie. La disponibilité peut être plus limitée à cause du morcellement de la propriété forestière. On pourrait par exemple couvrir les besoins en carburant pour le transport aérien, représentant 12% de la consommation de pétrole (50 MTEP) soit 6 MTEP, par la synthèse de kérosène (Fischer-Tropsch) après gazéification de 20 Mm³ de bois. Alaska Airlines couvre ainsi 20% de ses besoins avec ce bio-kérosène. Le rapport européen « Carbon accounting of forest bioenergy Luisa Marelli ed, 2013 » donne les conclusions suivantes sur le type de ressources bois à utiliser. On constate qu'il faut privilégier l'utilisation judicieuse en cascade du Bois ou les nouvelles plantations sur jachères pour réduire les émissions de gaz à effet de serre des énergies renouvelables par rapport aux énergies fossiles.

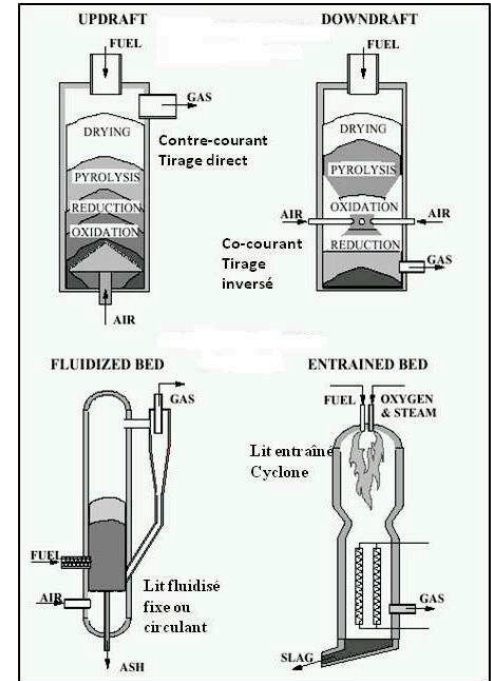


Figure 5. Types de réacteurs de gazéification

- systèmes à lit fixe : gazéificateurs à co-courant (downdraft), et ceux à contre-courant (updraft) pour des installations mobiles, petites ou moyennes,
- systèmes à lit fluidisé, avec 3 catégories fonction de la vitesse de fluidisation, les lits fluidisés denses circulants et entraînés, pour des installations de grande taille.

Origine du Bois	Efficacité de la réduction des émissions de CO ₂					
	Court terme (10 ans)		Moyen terme (50 ans)		Long terme (siècles)	
	Charbon	Gaz naturel	Charbon	Gaz naturel	Charbon	Gaz naturel
Bois tige récolté pour l'énergie	---	---	+/-	-	++	+
Déchets d'exploitation	+/-	+/-	+	+	++	++
Déchets d'éclaircie	+/-	+/-	+	+	++	++
Grumes de récupération d'exploitation forestière	+/-	+/-	+	+	++	++
Nouvelles plantations sur jachères	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Remplacement de Forêts par des plantations à courte rotation	-	-	++	+	+++	+++
Déchets industriels du bois, Bois en fin de vie	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+/- Emissions de CO ₂ équivalentes ; - ; -- ; --- Les énergies renouvelables émettent plus de CO ₂ que les énergies fossiles						
+ ; ++ ; +++ Les énergies renouvelables émettent moins de CO ₂ que les énergies fossiles						

Ce qu'il faut retenir

- L'utilisation du bois comme ENR est ancienne (petites installations fixes ou mobiles)
- Les réactions et procédés de valorisation énergétiques du bois sont connues
- Le bois est la meilleure ENR pour la production d'hydrogène rapidement
- Les volumes disponibles de bois en France permettraient de couvrir les besoins en carburant liquide exigé par le transport aérien
- L'utilisation de déchets et produits bois en fin de vie doit être privilégiée en termes de réduction d'émission de GES