

3. Approche conceptuelle

L'idée de base de la Terminologie unifiée de la bioénergie (TUB) est de créer un cadre adapté pour déterminer la quantité et le type de bioénergie circulant à partir des différentes sources d'approvisionnement en biocombustibles et qui soit destiné à satisfaire les besoins des utilisateurs finaux. Ainsi, le *biocombustible* ou vecteur énergétique, quel qu'il soit, est le paramètre de base à comptabiliser et à classer convenablement. Que l'usage en soit commercial ou non, ces *biocombustibles* doivent être considérés comme des biens marchands ou des produits de base à même de satisfaire les exigences de la demande énergétique.

La figure 2 ci-dessous est une représentation conceptuelle des systèmes de *bioénergie*. Elle fait apparaître comment les *biocombustibles* circulent physiquement pour satisfaire la demande.

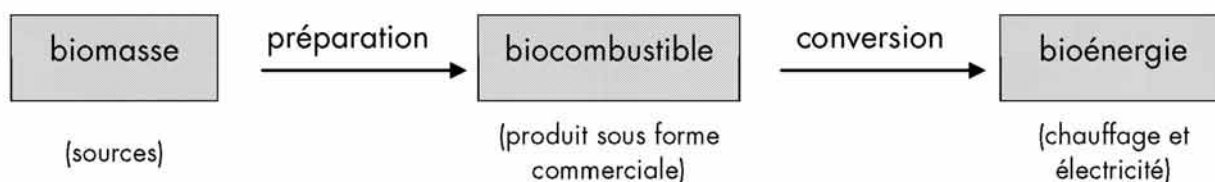


Figure 2 : Chaîne de production de la bioénergie

Pour couvrir les objectifs de la TUB, on adopte trois points de vue différents :

- ▶ Les **sources de biocombustibles**. Il s'agit de la situation physique initiale de l'intrant matériel (*biomasse*) dans les cycles économiques et écologiques (*bois forestier, arbres forestiers énergétiques, sous-produits de l'exploitation forestière, sous-produits de l'aménagement des paysages, sous-produits agricoles, sous-produits agro-industriels, etc.*) ;
- ▶ Les **types de biocombustibles**. On s'intéresse ici à la nature ou à l'origine du *biocombustible* en suivant la même structure que celle employée pour les sources de la *biomasse* (par exemple les *combustibles ligneux, les combustibles herbacés*) et les formes commercialisées les plus importantes (c'est-à-dire *bois de feu, charbon de bois, gaz de gazogène, biocombustibles en copeaux, biocombustibles en fagots*) ;
- ▶ Les **paramètres les plus pertinents pour les biocombustibles** (par exemple l'*humidité, les cendres totales*) et les termes relatifs à l'échantillonnage, aux essais et à la classification.

Ces aspects sont traités plus en détail aux chapitres suivants. Les termes et expressions de référence (qui figurent toujours en italique) sont indexés au chapitre 6 et définis au chapitre 7, par ordre alphabétique. Au chapitre 8, un glossaire reprend les principaux termes et expressions employés en anglais, espagnol et français.

La présente version comporte encore des points faibles et des chevauchements dans les domaines traités, ce qui appellera des éclaircissements ultérieurs. À la lumière des récentes évolutions techniques dans le secteur de la *bioénergie*, certains termes couramment employés dans la littérature et la bibliographie actuelles ont été supprimés. Par exemple, la notion d'énergie non commerciale a disparu et on a révisé l'ancienne définition de *biocombustibles*, qui renvoyait habituellement à la *biomasse* traitée en vue d'en obtenir de l'éthanol, des esters, etc., de manière à en donner une version plus appropriée. Le lecteur notera que l'expression *plantations énergétiques*, employée à

l'heure actuelle pour désigner tant les plantations forestières que les plantations agro-énergétiques, renverra dans cette nouvelle classification aux plantations énergétiques forestières, tandis que les plantations agricoles seront simplement appelées *cultures énergétiques*.

Dans d'autres cas, de nouveaux termes ou expressions sont proposés. Par exemple la catégorie *agrocombustible*, qui renvoie aux *biocombustibles* issus d'activités non forestières, comprend les *sous-produits énergétiques agricoles, d'origine animale* et *agro-industriels*. D'une manière générale, il est proposé que les termes *déchets* et *résidus* soient remplacés par celui de *sous-produit*, ou *produit dérivé*.

3.1 Sources d'approvisionnement en biocombustibles

Pour que les différentes bases de données statistiques sur les biocombustibles soient compatibles et échangeables et qu'elles apportent des informations complètes sur les systèmes bioénergétiques considérés et sur leurs sources d'approvisionnement, il est nécessaire de se pencher sur un certain nombre d'aspects, tels que les opérations commerciales, les *bilans des biocombustibles* et la *bioénergie dérivée*, la terminologie des sources de *biocombustibles*, les informations sur les caractéristiques de l'offre et de la demande et les modes d'utilisation, les exigences relatives aux ressources environnementales et les qualités des biocombustibles concernés. Il faut aussi prendre en compte les différents aspects de la *classification*, en fonction des systèmes de production, des secteurs économiques et des classes de biocombustibles (voir tableau 1).

Tableau 1 : Aspects pertinents pour la classification

classification par	information pertinente	nécessaire pour			
		statistiques	bilans de bioénergie	commerce	
système de production :	<ul style="list-style-type: none"> ▪ cultures énergétiques ▪ sous-produits ▪ produits d'utilisation finale 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ modèle d'offre, de demande et d'utilisation ▪ qualité du biocombustible 	x	x	x
secteurs économiques :	<ul style="list-style-type: none"> ▪ combustibles forestiers ▪ agrocombustibles ▪ sous-produits d'origine municipale 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ modèle d'approvisionnement ▪ exigence relative aux ressources environnementales 	x	x	
classes de matériaux :	<ul style="list-style-type: none"> ▪ biomasse ligneuse ▪ biomasse herbacée ▪ fruits et graines ▪ divers / mélanges 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ exigence relative aux ressources environnementales ▪ qualité des biocombustibles 		x	x

Dans le tableau 2, ces différents aspects sont réunis et illustrés par quelques exemples. Le terme "sous-produit" englobe ce qu'on appelle improprement les résidus et déchets solides, liquides et gazeux résultant des activités de transformation des matières premières organiques. Le tableau 3, qui reprend la structure proposée au tableau 2, offre un aperçu plus détaillé des différentes sources. Les principales sources de *biocombustible* utilisées dans les pays en développement sont le *bois de feu*, le *charbon de bois*, les *sous-produits agricoles* et les effluents d'élevage.

Les principales définitions des sources d'approvisionnement en biocombustible décrites dans la TUB se rangent en trois catégories : les *combustibles ligneux*, les *agrocombustibles* et les *sous-produits d'origine municipale*.

Les sources d'approvisionnement en biocombustibles sont présentées selon les différents procédés de préparation des biocombustibles. Ces différents procédés produisent différents types de biocombustibles (c'est-à-dire des combustibles solides, liquides ou gazeux), qui sont enfin convertis en

chaleur et en électricité. Un plan détaillé de classification des différents types de biocombustibles est présenté au tableau 5 (voir chapitre 4).

3.2 Le commerce des biocombustibles

Les biocombustibles en général, et les combustibles ligneux en particulier, sont des supports énergétiques amplement commercialisés, tant sur les marchés structurés, ou formels, que non structurés, ou informels. Dans la plupart des cas, il existe deux grands types de biocombustibles commercialisés : les *biocombustibles* primaires (non traités) et les *biocombustibles* secondaires (traités).

- ▶ **Les biocombustibles primaires** (non traités) sont ceux dont la matière organique est utilisée essentiellement sous sa forme naturelle (telle que récoltée, comme le bois). Habituellement, ils sont directement consommés pour la cuisson des aliments, le chauffage de locaux ou la production de courant électrique, mais il existe également des applications industrielles à petite et à grande échelle de ces combustibles, employés pour produire de la vapeur et pour d'autres usages industriels nécessitant un chauffage à des températures faibles à moyennes.
- ▶ **Les biocombustibles secondaires** (traités) se présentent sous forme solide (par exemple le *charbon de bois*), liquide (*alcool*, *huile végétale*) ou gazeuse (par exemple le biogaz, mélange de méthane et de dioxyde de carbone). Ils peuvent avoir des usages très variés avec un rendement moyen plus élevé, entre autres pour le transport et pour des procédés industriels exigeant de hautes températures.

Tableau 2 : Classification des sources de biocombustibles en fonction de leurs caractéristiques

		biomasse ligneuse	biomasse herbacée	biomasse des fruits et graines	autres (dont mélanges)
		COMBUSTIBLES LIGNEUX	AGROCOMBUSTIBLES		
cultures énergétique ⁵	directs	<ul style="list-style-type: none"> ▪ arbres forestiers énergétiques ▪ arbres de plantation énergétiques 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ plantes herbacées énergétiques ▪ céréales entières énergétiques 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ graines énergétiques 	
		sous-produits *	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sous-produits d'éclaircies ▪ sous-produits de l'exploitation forestière 	sous-produits de l'agriculture : <ul style="list-style-type: none"> ▪ paille 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ noyaux, coquilles, écorces, enveloppes, etc.
	indirects		<ul style="list-style-type: none"> ▪ sous-produits de l'industrie de transformation du bois 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sous-produits de la transformation des plantes à fibre 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sous-produits de l'industrie alimentaire
matériels dérivés d'autres usages	récupérés	<ul style="list-style-type: none"> ▪ bois usagé 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ produits fibreux usagés 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ produits usagés issus des fruits et graines 	SOUS-PRODUITS D'ORIGINE MUNICIPALE <ul style="list-style-type: none"> ▪ déchets ménagers ▪ boues d'épuration des eaux usées

* L'expression "sous-produits" désigne ce qu'on appelle improprement les résidus et déchets solides, liquides et gazeux issus des activités de transformation de la biomasse.

La transformation des *biocombustibles* a pour objet de fournir une matière présentant des caractéristiques combustibles clairement définies et de garantir une conversion en énergie utile qui soit simple au plan technique et respectueuse de l'environnement. Ces combustibles clairement définis peuvent ensuite être utilisés avec moins de difficultés pour un approvisionnement efficace et confortable. À cet effet, on pourra avoir recours aux procédés de conversion indiqués dans la figure 3.

- La **conversion thermochimique** englobe tous les procédés de conversion de la biomasse faisant appel au réchauffement dans des conditions déterminées. Ainsi la *gazéification*, la *pyrolyse* et la production de *charbon de bois*. Parmi ces différentes possibilités, seule la production de *charbon de bois* est actuellement utilisée de manière très courante. La gazéification destinée à la production d'électricité semble avoir des débouchés très prometteurs, qui pourraient se concrétiser sur le marché au cours des prochaines années. La pyrolyse utilisée pour produire un *combustible* liquide exploitable dans des centrales électriques est, quant à elle, une solution d'avenir.

Tableau 3 : Aperçu des plus importantes sources d'approvisionnement en biocombustible

Classes de matériels	Sources	Exemples	
biomasse ligneuse	bois d'arbres de forêts naturelles et de plantation	arbres forestiers énergétiques	
		arbres de plantation énergétiques	
		arbres à rotation courte	
		sous-produits des coupes d'éclaircie	
		sous-produits de l'exploitation forestière	
		arbres complets	
		arbres entiers	
		sections d'arbre	
		arbustes	
		souches	
	écorce		
	sous-produits de l'industrie de transformation du bois	délicieux	
		dosses	
		chutes d'éboutage	
		copeaux de rabotage	
poussière de ponçage			
sciure			
sous-produits des panneaux de fibres ou de particules			
sous-produits des contreplaqués			
sous-produits de la transformation du liège			
sous-produits de la viscose			
bois usagé	boues de fibres		
	liqueur noire		
	bois de démolition		
	bois de construction récupéré		
	déchets ligneux bruts		
biomasse herbacée	cultures énergétiques	papier usagé	
		plantes herbacées énergétiques	
	céréales énergétiques entières		
	sous-produits agricoles	paille	
	sous-produits agro-industriels	bagasse	
objets de consommation	sous-produits de l'industrie textile		
	vêtements usagés		
	matériaux d'isolation usagés		
biomasse des fruits et des graines	cultures énergétiques	graines énergétiques	
		noyaux	
	sous-produits agricoles	coquilles	
		enveloppes	
	sous-produits agro-industriels	tourteaux et farines d'oléagineux	
		sous-produits de l'industrie brassicole	
		sous-produits de l'industrie de transformation de l'amidon	
	déchets de consommation	huile végétale usagée	
	Divers/mixtes	sous-produits d'origine animale	excréments
			fumier
effluents avicoles			
sous-produits horticoles		buissons	
sous-produits de l'aménagement des paysages		Déchets verts de voirie	
		sous-produits de l'aménagement des zones protégées	
sous-produits agro-industriels		sous-produits des abattoirs	
		boues biologiques	
déchets de consommation		ordures ménagères	
		boues d'épuration des eaux usées	
	farine d'os		

- ▶ Les **procédés de conversion physico-chimique** donnent lieu à un combustible liquide moyennant une série de processus physiques et chimiques. Le procédé le plus important utilisé de nos jours est la production d'huile végétale à partir de graines d'oléagineux et l'estérification de cette huile pour obtenir un ester méthylique d'acide gras (communément appelé biodiesel) pouvant servir de succédané du gazole (alimentation des moteurs diesel). Cette technologie est utilisée à grande échelle en Europe.
- ▶ La **conversion biochimique** englobe les procédés de conversion qui font appel à des processus biologiques. Les débouchés les plus importants sont la production d'alcool à partir de la biomasse contenant du sucre, de l'amidon et/ou de la cellulose, et la production de gaz à partir de déchets organiques. Ces technologies sont fort bien maîtrisées et largement utilisées pour l'approvisionnement en énergie.

Les *biocombustibles* obtenus peuvent être utilisés dans des moteurs du secteur des transports, des turbines, des chaudières et des fours pour fournir de l'énergie thermique et/ou mécanique, qui peut être convertie ensuite en énergie électrique. En outre, les combustibles liquides et (éventuellement) gazeux peuvent être utilisés directement, ou après traitement, comme carburant.

Actuellement la production de chaleur et d'électricité sont les deux usages principaux, dans le monde, pour les combustibles issus de la biomasse. Les appareils de combustion directe, fort variés, ont des capacités thermiques allant de quelques kilowatts (kW) pour les poêles domestiques à plusieurs dizaines de mégawatts (MW) pour les centrales thermiques. Le rendement de conversion varie de 8-18 %, pour les poêles simples utilisées traditionnellement dans les pays en développement, à 90 %, voire plus, pour des systèmes de chauffage modernes. La production d'électricité repose principalement sur le cycle de vapeur classique, dont le rendement est de près de 30 % et la capacité supérieure à 300 kW.

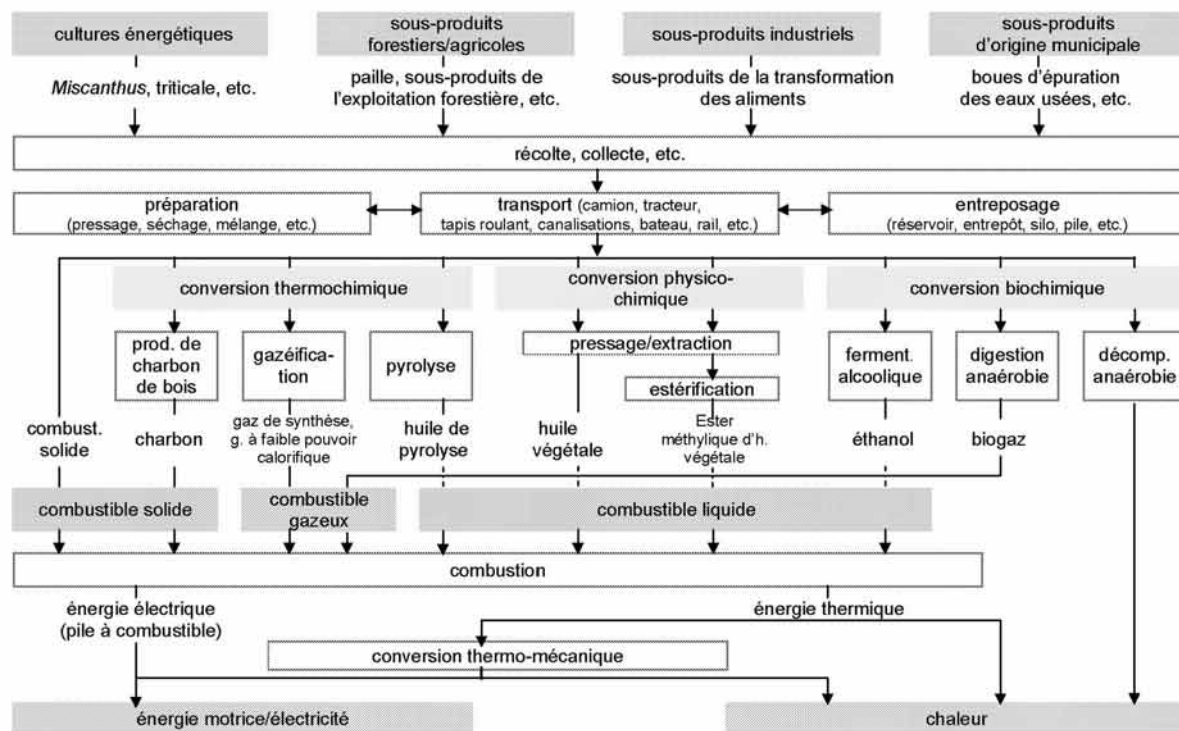


Figure 3 : Possibilités de fournir de l'énergie thermique ou motrice et des biocarburants à partir de différentes sources de biomasse

Le tableau 4 évalue la disponibilité de matières premières en vue de leur utilisation dans diverses solutions techniques de production d'énergie. Certaines technologies ne sont possibles qu'avec une biomasse cultivée spécialement à cet effet (par exemple des cultures énergétiques). Ceci peut constituer un obstacle dans certains cas, étant donné que la production de la biomasse suppose un effort considérable et que les surfaces arables disponibles sont limitées. En l'état actuel, la production d'énergie à partir de la combustion de biocarburants ainsi que la gazéification et la pyrolyse apparaissent comme les solutions les plus prometteuses pour l'exploitation des différentes matières premières. [6]

Tableau 4 : Comparaison entre différentes filières de conversion de la biomasse en énergie

	Charbon de bois Production et utilisation pour la prod. de chaleur	Gaz de synthèse Production et utilisation pour la prod. d'électricité	Huile de pyrolyse Production et utilisation comme carburant	Huile végétale Production et utilisation pour le transport	Huile végétale Esterification et utilisation pour le transport	Alcool Production et utilisation pour le transport	Biogaz Production et utilisation pour la production d'électricité
Matière première							
Sous-produits	++	+++	+++				++
Cultures énergétiques	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+
Technique de conversion							
Technologie	+++	++	+	+++	+++	+++	++
Solution systémique	+++	+	+	+++	++	++	++
Aspects systémiques							
Intégration des systèmes	+	+++	+++	+	+++	+++	++
Avantages écologiques	++	+++	+++	+++	+++	+++	++
Coûts	++	+	+	+	+	+	+
Potentiel de réduction des coûts	+	+++	+++	+	+	+	++

Évaluation : + moyennement prometteuse, ++ prometteuse, +++ très prometteuse

Source : Smith, K.R. ; Kaltschmitt, M. ; Thrän, D. 2001 [19]

On peut citer comme exemple, au rang des applications commerciales et industrielles largement utilisées, la combustion directe de différents types de biocombustibles ligneux, ainsi que la combustion de charbon obtenu à partir de bois de charbonnage, la conversion de sous-produits de l'industrie alimentaire, de sous-produits d'origine municipale et de certains sous-produits agricoles en biogaz grâce à la digestion anaérobie appliquée dans des centrales thermoélectriques mixtes.

Le tableau 4 indique que certaines filières sont très prometteuses pour certaines technologies, comme les solutions systémiques, surtout dans le cas de la production de *charbon de bois*, ou encore de l'huile végétale et de l'estérification (biodiesel), ainsi que, dans une moindre mesure, de la production d'alcool (bioéthanol). Dans certains pays en développement, la filière du charbon de bois est très développée, de même que la filière d'approvisionnement en biodiesel (c'est-à-dire l'estérification de l'huile végétale et l'utilisation du *combustible* obtenu pour le transport) dans certains pays industrialisés (Autriche, Allemagne, France et États-Unis).

L'expression *solutions systémiques* renvoie aux possibilités d'intégration de certaines combinaisons de technologies de conversion en énergie et/ou de traitement d'un biocombustible dans un système énergétique, avec les bénéfices environnementaux obtenus ou escomptés, les coûts actuels et les possibilités de réduction des coûts. Le tableau indique que, pour certaines options, les coûts sont très élevés, mais que les potentiels de réduction des coûts le sont également. Les données font apparaître de manière évidente que la plupart des options peuvent être considérées comme présentant un aspect écologique *prometteur* à *très prometteur*. Par conséquent, la biomasse pourrait supposer une contribution considérable s'agissant de répondre à la demande énergétique sans porter atteinte à l'environnement. C'est vrai en particulier pour les options concernant l'approvisionnement en énergie faisant appel à des technologies de conversion moderne. En outre, la plupart des options ayant recours à la biomasse pourraient facilement être intégrées dans le système énergétique existant. Cela permettrait d'opérer facilement un transfert depuis le système énergétique actuel, qui repose principalement sur l'énergie combustible fossile, vers un système énergétique plus durable, avec une plus grande contribution bioénergétique.

L'utilisation des *biocombustibles* est géographiquement très variée. Les *sous-produits* concentrés sur les sites de traitement industriel (comme l'écorce et la sciure dans les scieries) sont actuellement la plus importante source de *biomasse* utilisée commercialement. Par exemple, la bagasse, c'est-à-dire les

déchets fibreux obtenus industriellement après extraction du jus de la canne à sucre, fournit souvent de l'énergie à la raffinerie même pour extraire le jus, puis raffiner le sucre de canne ou le transformer en alcool. En outre, l'excédent de bagasse est utilisé pour fournir de l'électricité au réseau local.

Dans les pays en développement, la *biomasse* (en particulier le *bois de feu* et le *charbon de bois*) est utilisée principalement dans les appareils de combustion ouverts pour la cuisson des aliments et, dans une moindre mesure, pour le chauffage.