

# Énergies renouvelables et agriculture

## La transition énergétique

- Les approches techniques
- Les enjeux et opportunités

Bernard Pellecuer

2<sup>e</sup> édition

# Sommaire

Préfaces à l'édition actuelle .....	V
Préfaces à la première édition .....	IX
Introduction .....	XXI
Grille de lecture .....	XXV
<b>PARTIE I – L'AGRICULTURE AU CŒUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE .....</b>	<b>1</b>
<b>1 L'énergie et la crise énergétique .....</b>	<b>3</b>
Les consommations d'énergie: le règne du fossile ! .....	3
La dépendance « énergétique » .....	5
La consommation d'énergie au niveau national et en agriculture .....	6
Le pétrole roi .....	6
Les cours du pétrole sur longue période .....	7
Les réserves en pétrole .....	8
Les « années 2015 »: la guerre des cheikhs contre les schistes .....	10
<b>2 Le changement climatique et les gaz à effet de serre .....</b>	<b>12</b>
Le dérèglement climatique .....	12
Quelques observations du GIEC .....	15
Et pour l'agriculture et la forêt? .....	17
La contribution de l'agriculture aux émissions de gaz à effet de serre .....	18
<b>3 La mise en œuvre des politiques internationales, européennes et françaises ...</b>	<b>22</b>
Les politiques et réglementations internationales .....	22
Quelques dates clés .....	22
Le protocole de Kyoto .....	24
Un exemple de mécanisme de régulation européen: les quotas carbone et le marché des quotas .....	25
Le protocole de Kyoto et l'agriculture .....	27
Les politiques et réglementations européennes .....	28
Quelques dates clés .....	28
Le « paquet Énergie-Climat 2030 »: un cadre d'action en matière de climat et d'énergie .....	28
Les politiques et réglementations françaises .....	29
Quelques dates clés .....	29
L'agriculture est concernée par la loi sur l'énergie (loi POPE) dès 2005 .....	30
La loi d'orientation agricole et le plan climat de 2005 .....	31

Le Grenelle de l’environnement .....	32
La loi sur la « transition énergétique pour la croissance verte » .....	33
<b>4 Les énergies renouvelables et leurs enjeux</b> .....	<b>36</b>
Les énergies renouvelables aux niveaux mondial et européen .....	36
Les énergies renouvelables en France .....	38
Les objectifs de développement du Grenelle par filière .....	40
Un gisement d’emplois « renouvelables » .....	41
Atouts et faiblesses des énergies de substitution .....	42
<b>PARTIE II – UNE CHANCE POUR L’AGRICULTURE ET LA FORÊT</b> .....	<b>45</b>
<b>5 Les opportunités et les défis à relever par l’agriculture et la forêt</b> .....	<b>47</b>
Saisir sa chance .....	47
Le marché de la biomasse est rémunérateur .....	47
Une chance pour l’agriculture d’être acteur du développement local et territorial ...	48
L’occasion d’acquérir une nouvelle identité et une communication renouvelée ...	48
Répondre aux défis .....	49
Développer une écoute « politique » et être une force de proposition .....	49
Faire des choix professionnels responsables et penser une pédagogie .....	50
Continuer d’innover : une collaboration renouvelée avec les structures de recherche et les industriels .....	50
Adapter le « développement agricole », c’est-à-dire le conseil aux agriculteurs ..	51
La contribution de l’agriculture aux objectifs du Grenelle de l’environnement ...	51
<b>6 Les énergies renouvelables, la biomasse et les territoires</b> .....	<b>54</b>
Un développement local, des énergies décentralisées et proches .....	54
Le modèle énergétique centralisé a fait ses preuves, mais.....	54
Des énergies renouvelables décentralisées .....	55
La création ou le maintien d’emplois .....	56
Une sécurité d’approvisionnement énergétique, une image positive .....	57
Un coût de transport moindre .....	58
Une opportunité : « la production d’électricité répartie » .....	59
L’intérêt de ces réseaux est pluriel .....	59
La participation aux réseaux électriques intelligents ( <i>smart grids</i> ) .....	60
Une chance pour devenir acteur de l’économie circulaire .....	60
Une approche territoriale concertée entre les acteurs et les collectivités .....	62
Des partenariats locaux .....	62
Résoudre des tensions entre les usages de la biomasse .....	64
Raisonnement par bassin de production et contractualiser .....	64
Un exemple de Schéma régional climat air énergie (SRCAE) .....	65

<b>7</b>	<b> limiter les émissions de GES, développer les bioproduits, séquestrer le carbone</b> .....	71
	Réduire les émissions agricoles directes de gaz à effet de serre .....	72
	Les principales sources de gaz à effet de serre agricoles.....	74
	Comment mobiliser ce potentiel de réduction d'émission de GES? .....	75
	Développer les bioénergies.....	76
	Les biocombustibles.....	77
	Les agrocarburants.....	77
	Tenir compte du transport de la biomasse-énergie .....	77
	Participer au développement des bioproduits (produits biosourcés) .....	77
	Le développement de la bioéconomie.....	78
	La limitation indirecte des émissions de gaz à effet de serre .....	78
	Répondre à une demande croissante des marchés .....	80
	Exploiter le potentiel de séquestration du secteur agricole et forestier .....	80
	Comment agir?.....	81
	Quel accompagnement public? Rémunérer le carbone séquestré.....	82
<b>8</b>	<b> Les exploitations agricoles et leurs projets</b> .....	85
	Les énergies renouvelables sur les exploitations agricoles.....	85
	La dépendance des exploitations agricoles à l'énergie .....	85
	Les économies d'énergie et le respect de l'environnement.....	88
	La mise en œuvre d'un projet de bioénergie .....	90
	En premier, réaliser un diagnostic.....	90
	En second : monter son projet.....	93
	En second à égalité : réaliser un PPE (Plan de performance énergétique).....	94
<b>9</b>	<b> Développer toutes les énergies renouvelables pour atteindre les objectifs du Grenelle de l'environnement en 2020</b> .....	97
<b>PARTIE III – LA BIOMASSE SÈCHE</b> .....		101
<b>10</b>	<b> Le bois énergie</b> .....	104
	De belles perspectives pour la filière bois énergie .....	104
	Destination chauffage pour le bois énergie .....	104
	La mobilisation : un enjeu stratégique.....	105
	Les gisements potentiels : combien et où?.....	107
	Le cercle vertueux de la filière bois .....	110
	Une énergie traditionnelle et pourtant.....	111
	« Changer d'air ! » : l'agriculture n'est pas concernée .....	112
	Les plaquettes de bois.....	114
	Le prix des combustibles.....	114

Les origines du bois plaquette ou bois déchiqueté .....	114
Le déchiquetage .....	115
Le séchage .....	116
L'organisation de la filière paysane : l'exemple de la SCIC BIBE.....	117
Le chauffage domestique aux plaquettes.....	118
La valorisation agricole des haies .....	119
La valorisation agricole d'autres produits : exemple, les sarments de vigne.....	120
La valorisation agro-industrielle du bois de forte puissance.....	122
<b>Les granulés de bois (pellets) .....</b>	<b>126</b>
Les caractéristiques du granulé bois.....	127
La filière granulé .....	127
Le prix des granulés .....	128
L'usage pour le chauffage domestique .....	128
L'usage pour le tertiaire et la petite industrie.....	128
La structuration des filières, les organisations collectives et territoriales.....	131
<b>Le Bran Blending.....</b>	<b>132</b>
<b>11 Les céréales (pailles et grains) et autres produits .....</b>	<b>135</b>
La paille énergie .....	135
Le grain énergie .....	139
Une filière industrielle est-elle envisageable? .....	141
La charge symbolique du blé et le blé déclassé.....	142
La situation actuelle .....	142
Des chaudières à grains polycombustibles de préférence.....	143
Les autres produits : huiles végétales, vinasses.....	145
<b>12 Les cultures énergétiques .....</b>	<b>148</b>
Un avenir prometteur.....	148
L'introduction de cultures énergétiques .....	149
Toute une palette de cultures qui doivent trouver leur place.....	149
Où implanter ces cultures? .....	151
La biomasse énergie au secours de la dépollution .....	152
Controverses et éléments de réponse concernant uniquement les cultures non alimentaires .....	153
<b>PARTIE IV – LA MÉTHANISATION ET LE BIOGAZ .....</b>	<b>157</b>
<b>13 La méthanisation au cœur des territoires.....</b>	<b>159</b>
Des avantages qui sautent aux yeux!.....	161
Où sont les gisements d'énergie? .....	163
Les gisements agricoles.....	163
L'ensemble des gisements (déchets).....	167

La situation de la méthanisation en France .....	169
Particularités de la France en Europe .....	169
Les installations françaises .....	170
Le développement de la filière de production de « biométhane injecté » .....	170
Les « installations à la ferme » .....	173
Les objectifs affichés pour le biogaz et la politique publique d'incitation .....	175
<b>14 La méthanisation, le biogaz et le digestat</b> .....	<b>176</b>
<b>Fonctionnement, équipement, substrat</b> .....	<b>176</b>
Un processus unique, mais complexe... ..	176
Des technologies diverses, mais une technique courante.....	176
Tout est dans le substrat pour avoir une ration équilibrée.....	179
<b>La valorisation du biogaz: tout lui est permis ou presque !</b> .....	<b>183</b>
Des précautions à prendre .....	183
Des valorisations multiples .....	184
<b>La valorisation du digestat: un must !</b> .....	<b>187</b>
<b>15 Quelques points d'attention pour un projet « à la ferme »</b> .....	<b>189</b>
<b>L'économie du projet</b> .....	<b>189</b>
<b>La rentabilité économique</b> .....	<b>190</b>
Le coût d'investissement initial est toujours conséquent .....	190
Les recettes sont diversifiées .....	190
Les dépenses sont à optimiser.....	192
Le temps de retour sur investissement est peu favorable.....	192
<b>Les aides publiques</b> .....	<b>192</b>
Les aides au projet .....	192
Les aides à la production d'électricité et des appels d'offre.....	193
<b>Les précautions d'usage</b> .....	<b>193</b>
<b>PARTIE V – LA BIOMASSE CARBURANT</b> .....	<b>195</b>
Conquérir une indépendance énergétique par rapport au pétrole et au gaz et tendre vers la mobilité durable .....	196
Concilier production agricole et production d'agrocarburants .....	197
Les agrocarburants de 1 <sup>re</sup> génération .....	197
Les agrocarburants de 2 <sup>e</sup> et de 3 <sup>e</sup> génération.....	197
Faire des choix politiques de développement agricole .....	198
<b>16 Les agrocarburants industriels</b> .....	<b>199</b>
<b>Les avantages des agrocarburants</b> .....	<b>199</b>
<b>Les réglementations européenne et française</b> .....	<b>201</b>
La cohabitation production d'agrocarburants et production alimentaire .....	202

Les filières industrielles agrocarburants de 1 <sup>re</sup> génération .....	204
La filière éthanol à partir de sucres et d'amidon.....	204
La filière biodiesel à partir d'huiles de colza et de tournesol.....	208
Les filières agrocarburants de 2 <sup>e</sup> génération.....	211
Les agrocarburants de 3 <sup>e</sup> génération .....	213
<b>17 La filière courte huiles végétales pures (HVP) .....</b>	<b>216</b>
Une énergie locale, peu polluante, qui est un retour aux sources.....	217
Un potentiel de développement.....	217
Mais des avantages notables pour l'agriculture .....	218
Un bilan énergétique très favorable.....	219
De nombreux avantages pour l'environnement .....	219
Fabrication, stockage et investissements à portée de main des agriculteurs... ..	220
Les investissements pour l'atelier (en CUMA) .....	220
Les contraintes d'utilisation de l'HVP pure .....	223
La réglementation pour l'utilisation des HVP.....	224
<b>18 La filière biométhane carburant.....</b>	<b>226</b>
Les valorisations du biométhane .....	226
La gestion du biométhane .....	227
<b>19 Une filière de l'après-pétrole: la filière hydrogène et les piles à combustible....</b>	<b>229</b>
La filière hydrogène et le biohydrogène.....	229
Les piles à combustible.....	232
Une technologie de rupture.....	232
<b>20 D'autres innovations et propositions... jusqu'où?.....</b>	<b>235</b>
 <b>PARTIE VI – L'ÉNERGIE DU VENT, DU SOLEIL, DE L'EAU ET DE LA TERRE, ET LES BÂTIMENTS BIOCLIMATIQUES ET À BASSE CONSOMMATION D'ÉNERGIE .....</b>	
<b>21 L'éolien terrestre.....</b>	<b>238</b>
L'énergie éolienne a le vent en poupe.....	240
Implanter un parc éolien de grande puissance.....	242
Qu'est-ce qu'une éolienne?.....	242
Les critères d'implantation d'une éolienne.....	244
Les étapes de la gestion du projet .....	245
Les contraintes réglementaires de la grande éolienne .....	246
L'impact sonore: tout est affaire de distance.....	246
L'impact paysager.....	247
L'impact sur le milieu naturel.....	248
L'impact écologique.....	248

Points de vigilance et controverses pour la grande éolienne .....	248
<b>Nouvelles technologies, <i>smart grids</i> et stockage .....</b>	<b>250</b>
Avancées technologiques .....	250
Vers une décentralisation énergétique en sécurité: le <i>smart grid</i> .....	250
Stockage de l'énergie .....	251
Quelle est l'économie du projet grande éolienne? .....	253
Le petit éolien .....	256
<b>22 Le solaire thermique et photovoltaïque .....</b>	<b>260</b>
Une énergie généreuse, radieuse et chaleureuse! .....	260
Une énergie pour tous et pouvant être produite par tous .....	261
Le solaire thermique .....	264
Les capteurs pour le chauffage .....	264
Le chauffe-eau solaire .....	264
Le chauffage thermique de l'habitat .....	267
Le séchage de fourrages, grains, fruits.....	269
Solaire thermique et climatisation .....	271
Le solaire photovoltaïque .....	274
Les solutions techniques .....	276
Comment évaluer l'économie du projet?.....	277
Centrales photovoltaïques et parcs agri-solaires.....	280
Le stockage de l'énergie solaire thermique et photovoltaïque.....	283
<b>23 La micro-hydraulique et les microcentrales.....</b>	<b>287</b>
La petite hydraulique ne fait pas de bruit mais elle turbine.....	287
Un fonctionnement simple et clair comme de l'eau de roche .....	289
Quelles sont les conditions réglementaires? .....	290
Débats, controverses et contradictions .....	290
Les coûts et avantages financiers .....	292
<b>24 La géothermie et les pompes à chaleur géothermiques.....</b>	<b>293</b>
La géothermie = la chaleur de la terre .....	293
La géothermie refait surface .....	295
Les risques pour la géothermie sont minimes, encore que... ..	297
Les pompes à chaleur et la récupération d'énergie .....	300
Fonctionnement de la pompe à chaleur: c'est de la thermodynamique... ..	300
Des prix et des rentabilités extrêmement variés .....	302
Quelques points d'attention .....	302
<b>25 Du bâtiment bioclimatique au bâtiment à énergie positive.....</b>	<b>306</b>
Un bâtiment bioclimatique qui fonctionne comme une termitière.....	306
Un intérêt économique et une indépendance énergétique.....	310



<b>Conclusion</b> .....	311
<b>Bibliographie</b> .....	313
<b>Liste des unités</b> .....	315
<b>Liste des sigles et quelques définitions</b> .....	317
<b>Liste des figures, tableaux et photos</b> .....	323
<b>Liste des cas concrets</b> .....	333
<b>Index</b> .....	337

# Introduction

Nous sommes entrés dans le 3<sup>e</sup> choc pétrolier qui va s'inscrire durablement dans notre économie ! Tous les scientifiques s'accordent à dire qu'une pénurie des ressources fossiles devrait intervenir avant la fin du siècle, et auparavant pour le pétrole !

Par ailleurs, si rien n'est fait, nous savons de manière quasi certaine que nous allons vers un réchauffement climatique mondial de l'ordre de 4 à 5 °C en moyenne pour la fin de ce siècle, avec pour conséquence tout un cortège de bouleversements dont certains seront assez dramatiques. Nous en serions responsables. La raison en revient aux émissions de gaz à effet de serre : celles du passé qui ont un effet pérenne, celles d'aujourd'hui dont nous sommes comptables et celles de demain si nous continuons sur la même lancée.

Déjà en 2005, le Parlement européen titrait « Le XXI<sup>e</sup> siècle sera le siècle des énergies renouvelables » et le plan climat quant à lui soulignait que « l'agriculture et la forêt sont considérées comme un secteur potentiellement de premier plan dans la lutte contre le réchauffement climatique ».

Dix ans plus tard, le ministre de l'Agriculture le confirmait et prolongeait la réflexion en parlant du défi adressé à l'agriculture : « L'accélération de la transformation des systèmes productifs, pour atténuer les émissions de gaz à effet de serre et s'adapter au changement climatique, constitue probablement le plus grand défi collectif des prochaines décennies. » On parle d'une agriculture « climato-intelligente ».

L'agriculture et la forêt sont en effet productrices d'énergies renouvelables et participent à la lutte contre le changement climatique, car ces énergies engendrent une bien moindre émission de gaz à effet de serre que les énergies d'origine fossile auxquelles elles se substituent. Agriculture et forêt ont donc une place privilégiée pour mettre en œuvre la transition énergétique, fruit de la volonté politique d'instaurer un nouveau modèle énergétique durable.

La seule biomasse, par exemple, est tout à la fois productrice d'énergie décarbonée, créatrice d'emplois et facteur d'équilibre local et territorial. Elle s'annonce comme une composante majeure dans la panoplie des énergies renouvelables. Son importance n'a fait que croître au cours de ces trente dernières années, et on attend d'elle encore plus : qu'elle fournisse à l'horizon 2050 50 % des besoins énergétiques mondiaux en électricité, en chaleur et en carburants. En France, les pouvoirs publics lui assignent ce même objectif de 50 %, mais pour 2020 (biomasse et recyclage de déchets organiques).

Il s'agit donc bien d'un réel défi qui est lancé à l'agriculture et à la forêt : devenir des acteurs majeurs dans cette recherche de diversification et d'indépendance énergétiques, tout en étant protectrices de l'environnement. Mais ne l'ont-elles pas toujours un peu été ?

Avant la révolution agricole du milieu du XX<sup>e</sup> siècle et avant l'ère du pétrole roi, l'agriculture et la forêt fournissaient non seulement la nourriture mais aussi l'énergie, les fibres pour le textile et les matériaux pour la construction. Pensons au charbon de bois,

au gazogène, à la fermentation méthanique, aux huiles végétales et à l'alcool carburant, aux moulins à eau et à vent. Et quoi de plus naturel que le « piégeage » du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) par les plantes, les forêts et le sol ? Qu'on l'appelle séquestration naturelle ou puits de carbone, c'est toujours de la plus ancestrale assimilation chlorophyllienne dont il s'agit. Nous touchons là aux fondements mêmes de la vie, et plus particulièrement de la vie végétale !

Agriculture et forêt ne peuvent-elles donc pas redevenir productrices de ces énergies renouvelables ? Elles occupent cet immense capteur solaire qu'est le territoire rural et que sont les champs et les forêts. Le slogan déjà ancien d'un président de la République « l'agriculture, le pétrole de la France » ne prendrait-il pas une toute nouvelle signification aujourd'hui : il s'agirait moins de participer à l'équilibre de la balance commerciale (exportations agricoles – importation de pétrole) que de substituer le pétrole vert au pétrole fossile et de gagner en indépendance et en qualité de vie.

Or des marges de progrès existent. Par exemple, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, 15 % des surfaces agricoles étaient consacrées à la traction animale : ne pourrait-on pas décider d'affecter une part du foncier à la biomasse énergie, tout en préservant les productions alimentaires ? Les surfaces forestières couvrent 30 % du territoire national et seulement 50 % de sa croissance sont prélevés : ne pourrait-on pas mobiliser davantage le bois qu'il ne l'est actuellement ?

On assiste à un intérêt grandissant des agriculteurs et forestiers pour les énergies renouvelables. Pour plus de 65 % d'entre eux, le développement des bioénergies figure parmi les pistes à développer pour asseoir leur avenir. Ils s'organisent de plus en plus collectivement pour réfléchir, innover, partager leurs expériences, construire ensemble des projets énergétiques locaux ou régionaux comme ils ont toujours su le faire en s'adaptant et en captant l'innovation. Ils répondent ainsi à leurs propres besoins mais aussi aux attentes des industriels agroalimentaires, du tertiaire et des collectivités territoriales avec lesquels ils construisent les projets. L'agriculture compte déjà de belles réussites économiques et énergétiques à ce sujet.

Plus de 90 % des ingénieurs et techniciens qui travaillent dans le secteur agricole sont sollicités pour apporter leur conseil tant sur les économies d'énergie que sur les énergies renouvelables sur les exploitations. Toutes les structures professionnelles économiques (coopératives) ou de développement (chambres d'agriculture notamment) s'organisent pour conseiller et accompagner les agriculteurs dans cette dynamique.

Lycées agricoles et autres écoles d'agronomie, organismes de formation, pas une seule structure qui n'inscrive cette thématique à son programme de formation. Les acteurs locaux, qui eux aussi sont des partenaires, sont entraînés dans cette dynamique.

C'est un peu une gageure d'aborder ces différents points dans un seul ouvrage. Nombre d'études, de publications traitent du sujet des énergies renouvelables. Mais ce livre tente de les aborder de manière détaillée, en privilégiant le terrain et l'entrée agricole et en les replaçant dans leur environnement. Il tente de concilier des informations de fond, des éclairages et éléments de réflexion et de débats, des expériences de témoins.

Il est destiné aux agriculteurs et forestiers, aux formateurs et enseignants, aux acteurs ruraux et responsables politiques et institutionnels qui ont pour objectif de bâtir un projet, d'être acteur de la transition énergétique ou simplement de participer aux débats de société.

Valoriser les énergies renouvelables, produire de la biomasse, participer à la réduction d'émissions de gaz à effet de serre, contribuer à l'indépendance énergétique du pays, c'est rentrer encore plus dans le développement durable. C'est concilier progrès économique et progrès social sans mettre en péril l'équilibre naturel de la planète. En effet, selon la définition du rapport Brundtland (1987), le développement durable est « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ».

Ceci n'est d'ailleurs pas sans rappeler le propos prêté à Antoine de Saint-Exupéry – et qui parle sans doute encore plus aux agriculteurs et aux forestiers qu'à tout autre : « Nous n'héritons pas de la terre de nos ancêtres, nous l'empruntons à nos enfants. » C'est ce qu'agriculteurs et forestiers mettent en pratique depuis de nombreuses générations, de manière souvent discrète mais parfois aussi de manière éclatante.

Ce livre voudrait redonner confiance aux agriculteurs dans la nouvelle place et le nouveau rôle qu'ils peuvent et doivent jouer dans le développement local, le développement territorial et l'économie du pays. Ils ont un rôle sociétal toujours aussi évident, même s'il s'agit pour eux d'un repositionnement.

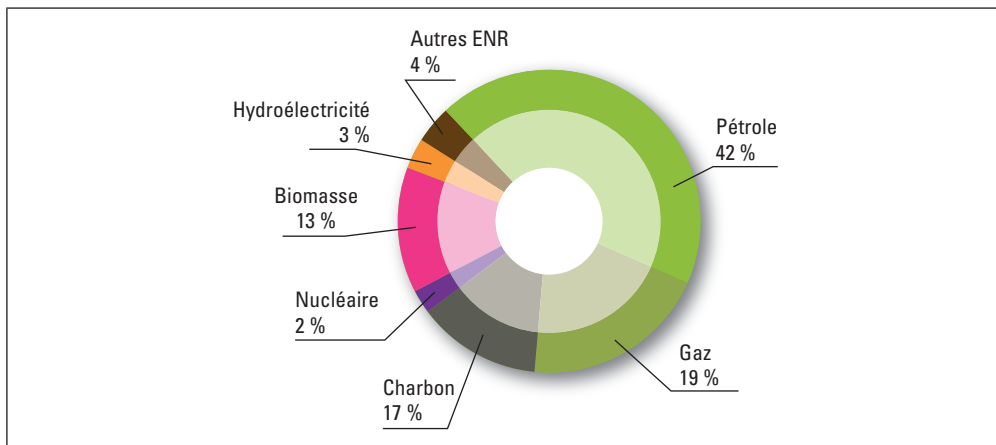
Remerciements à J.-L. Bal (SER) et à C. Labbie et son équipe (RAEE) pour leurs conseils, à Pauline Maubert pour le suivi éditorial de l'ouvrage. Et enfin, merci à N. P.

# L'énergie et la crise énergétique

L'énergie est la composante indispensable de notre monde qui est en développement permanent. Elle est tellement « naturelle » que nous n'avons plus conscience de son importance. Nous étions habitués à une énergie abondante et relativement bon marché. En moins de deux siècles, le pétrole, le gaz et le charbon ont transformé la face du monde. Progression en douceur, mais radicale. Ainsi la consommation de pétrole a été multipliée par 40 entre 1920 et 2000. En 300 ans, l'homme aura consommé la totalité des hydrocarbures, ce que la nature avait mis 300 millions d'années à fabriquer et à piéger...

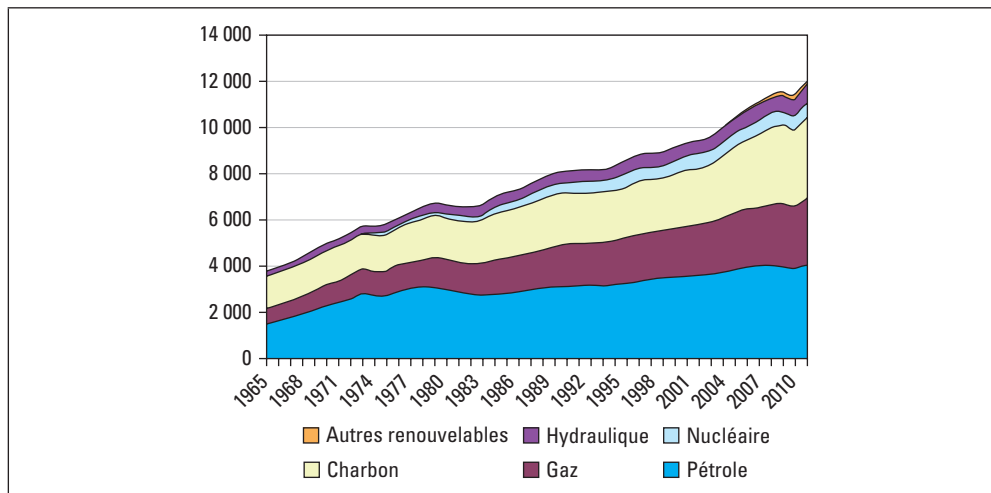
## Les consommations d'énergie : le règne du fossile !

Les énergies fossiles ont la part belle dans la consommation d'énergie finale, mais les énergies renouvelables ne sont pas en reste : pétrole, 42 % ; gaz, 19 % ; charbon, 17 % ; nucléaire, 2 % ; hydraulique, 3 % ; biomasse, 13 % (essentiellement le bois ; la tourbe ferait 6 %) (figures 1.1 et 1.2).



**Figure 1.1: La consommation finale mondiale d'énergie par source d'énergie en 2010**

Source : AIE, 2012/DNTE



**Figure 1.2: La consommation mondiale d'énergie primaire par type d'énergie (Mtep) – hors hydraulique et renouvelable**

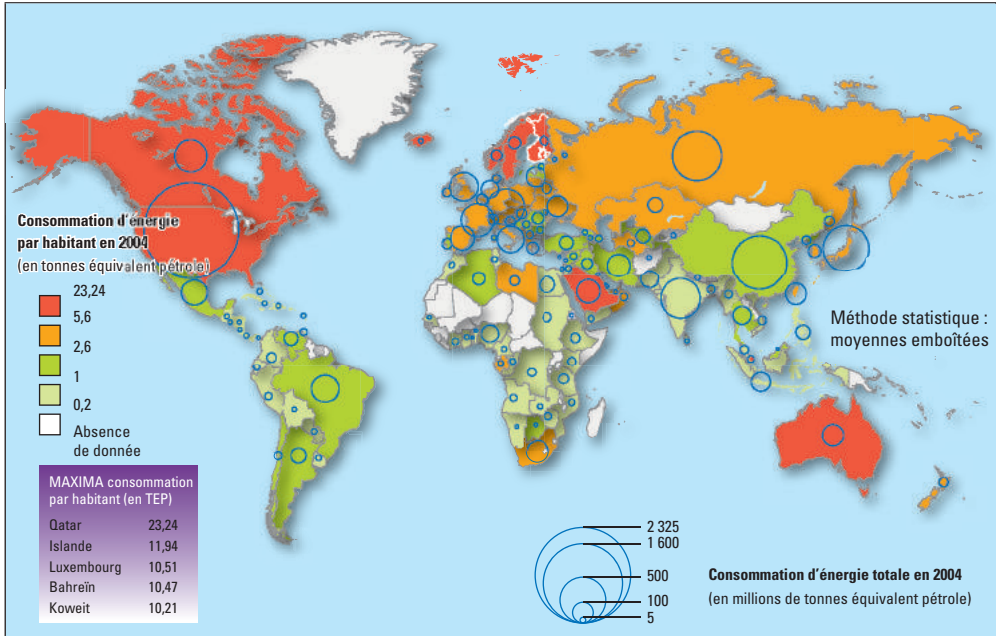
Source : BP Statistical Review of World Energy, juin 2011

L'augmentation extrêmement rapide de la consommation énergétique (au <sup>xx</sup><sup>e</sup> siècle, la consommation d'énergie a été multipliée par 20) est liée à la croissance économique et à la démographie. Elle a été stoppée net en raison de la crise économique de 2008, mais il paraît inéluctable qu'elle reparte (l'Agence internationale pour l'énergie prévoit une croissance de 45 % entre 2009 et 2030 : la Chine pèse actuellement pour 50 % dans la croissance de la demande).

Dans un tel contexte, le problème posé par la crise énergétique est d'ampleur mondiale et de nature civilisationnelle et on ne pourra généraliser le mode de vie occidental à toute la planète. Si tous les habitants de la terre vivaient comme un Français, il faudrait trois planètes pour qu'ils puissent y vivre. Un Américain consomme, par exemple, près de 16 fois plus d'énergie qu'un habitant d'Afrique sub-saharienne. Il faut donc s'attendre à des bouleversements considérables dans le « mix énergétique » mondial avant le milieu de ce siècle (figure 1.3).

À l'horizon 2050, et compte tenu de la décroissance des hydrocarbures et des limitations du charbon, il manquera plus du quart des ressources pour couvrir la consommation énergétique mondiale... Or le nucléaire – la France a une position originale à ce sujet – ne pourra permettre d'économiser que peu de pétrole, car celui-ci n'intervient dans la production mondiale d'électricité que pour 15 %.

D'où les politiques actuelles en faveur des économies d'énergie (la sobriété énergétique), de l'augmentation de l'efficacité énergétique (modification des techniques), de l'efficacité énergétique (modification des comportements), des énergies renouvelables et de la recherche de nouvelles solutions technologiques (pile à hydrogène, par exemple).



**Figure 1.3: La consommation d'énergie par habitant en 2004 (en tep)**

Source : Sciences Po, 2006

## La dépendance « énergétique »

Nous sommes soumis depuis un demi-siècle à une dépendance historique à l'égard du golfe Arabo-Persique (60 % des réserves mondiales sont concentrées dans un carré de 1 500 km de côté), à laquelle s'ajoute la dépendance vis-à-vis du gaz russe.

Cependant, aux yeux des experts, la dépendance de l'Occident apparaît moindre qu'il y a trente ans (tableau 1.1).

**Tableau 1.1: Les ressources énergétiques dans le monde (2005)**

Énergie %	Pétrole	Gaz	Charbon	Nucléaire
<b>Monde</b>	37	21	24	7
<b>Europe</b>	41	24	15	14
<b>France</b>	35	14	5	40

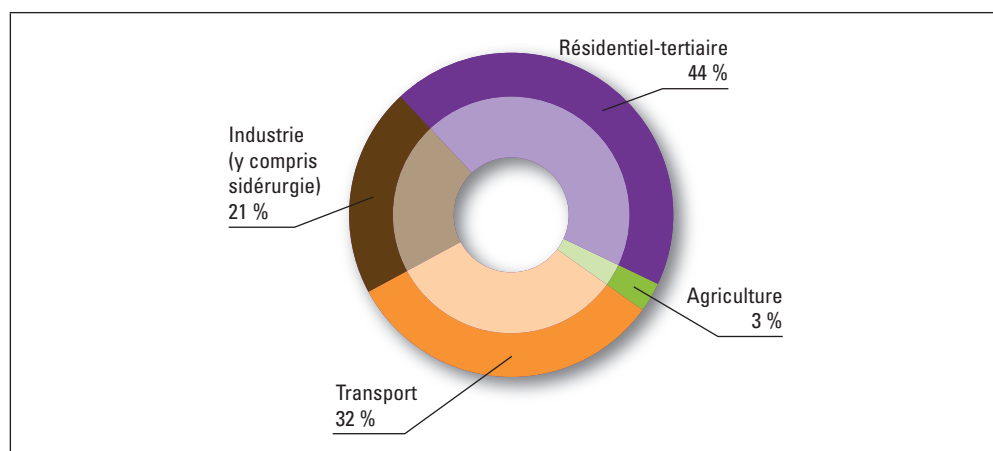
Source : CNRS

## La consommation d'énergie au niveau national et en agriculture

Au niveau français, le secteur qui consomme le plus d'énergie est le résidentiel-tertiaire, le transport arrive en deuxième position. L'agriculture quant à elle pèse pour 3 % (figure 1.4).

- Agriculture: 3,7 Mtep/an (1,4 %)
- IAA: 5 Mtep/an (1,8 %)

Les deux tiers de la consommation agricole en énergie directe sont le fioul et les carburants.



**Figure 1.4: La consommation d'énergie par secteur**

Source : Bilan de l'énergie 2011, SOeS

La part de la consommation de l'agriculture est stable depuis de nombreuses années. En revanche, sur la période 1973-2012, l'industrie voit sa part décroître (perte de 15 points entre 1970 et 2012, du fait de la désindustrialisation et de la disparition de la sidérurgie) alors que le secteur des transports gagne 12 points (figure 1.5).

## Le pétrole roi

Le pétrole est roi : il est indispensable au fonctionnement de l'économie mondiale, notamment du fait de la dépendance quasi totale du secteur des transports. Ce secteur dépend à près de 90 % des produits pétroliers ; c'est le secteur le plus gourmand et donc le plus émetteur de gaz à effet de serre.

Le pétrole est roi parce que sa production et sa consommation (incluant le gaz) génèrent d'importants revenus. Ainsi les bénéfices pétroliers mondiaux (incluant l'argent issu des taxes) sont estimés à 1 500 milliards de dollars par an, soit l'équivalent du PIB français.



# Le bois énergie

**Le bois énergie constitue la première source d'énergie renouvelable en France: 72 % de la biomasse énergie totale (toutes biomasses confondues). Rapporté à l'ensemble des énergies renouvelables, le bois énergie pèse pour 45 %, ce qui est loin d'être négligeable... et il fournit 45 % de la chaleur renouvelable.**

## De belles perspectives pour la filière bois énergie

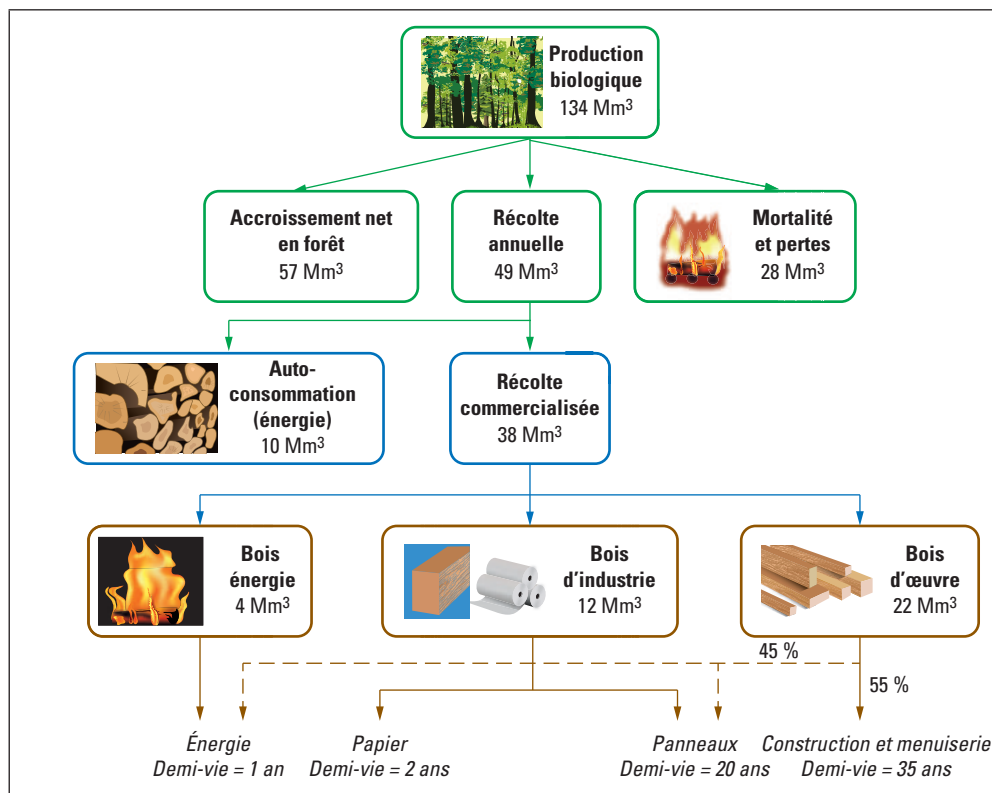
### Destination chauffage pour le bois énergie

La contribution du bois à nos besoins de chauffage va évoluer favorablement: le marché du chauffage domestique s'accroît d'environ 10 % par an ainsi que celui des chaufferies et c'est surtout dans le domaine des chaufferies automatiques industrielles et collectives que l'on devrait assister à un grand boom.

La France se situe au premier rang européen pour la consommation de bois énergie avec plus de 9 millions de tep de production par an. La majeure partie (7,4 Mtep/an) est utilisée pour le chauffage domestique en bois bûches (*figure 10.1*).

- Le chauffage domestique: un logement sur quatre est équipé d'un chauffage au bois (un ménage sur deux en milieu rural), soit environ 6 millions de ménages. La pénétration ne s'accroît pas, mais en revanche le taux de renouvellement est en croissance (de l'ordre de 10 %): au total, selon les années, entre 500 000 et 600 000 ventes par an, dont 80 % sont labellisés « Flamme verte ». À noter un accroissement significatif de l'efficacité énergétique totale du parc, de 2 à 3 % par an.
- Les chaufferies bois pour l'industrie, le logement et les collectivités: 3 000 sites sont recensés d'une puissance moyenne de 1 MW par site (2 000 t de bois énergie/an). Soit 1,9 Mtep/an, 8 Mm<sup>3</sup> de bois énergie/an. Croissance du parc entre 5 et 10 % par an.
  - Valorisation industrielle: 630 unités pour 870 MW installés concernent essentiellement les industries bois-papiers-panneaux qui utilisent leurs propres déchets et produits connexes.
  - Chauffage tertiaire (collectif et urbain): 0,2 Mtep/an avec une croissance de 300 % sur 30 ans.
  - Valorisation industrielle et agricole: 1,7 Mtep/an avec une croissance de 30 % en 30 ans.

À ces trois destinations, il faudrait en ajouter une quatrième: la cogénération (production concomitante de chaleur et d'électricité). Soit une cinquantaine de sites en fonctionnement ou en cours de réalisation de 12 MWe/site, soit 130 000 t de bois énergie/an.



**Figure 10.1 : Les principaux produits forestiers en France et leur durée de stockage du carbone**

Source : CDC Climat Recherche

En France, le bois récolté se répartit principalement entre bois d'œuvre (45 %), utilisation énergétique (29 %) et bois industriel (24 %).

## La mobilisation : un enjeu stratégique

Aujourd'hui, l'essentiel des 15 Mt/an de produits connexes de la filière bois rejoint les filières de la trituration (plaquettes et sciures pour les pâtes à papier et panneaux). Le reste rejoint la filière énergie; cumulés avec la récupération des emballages de bois, ce sont environ 6 à 8 Mt/an qui sont disponibles pour une valorisation énergétique. Soit environ 1,5 à 3 Mtep/an.

Selon le ministère de l'Agriculture, cela correspond approximativement à la ressource « fatale » (c'est-à-dire la ressource récupérée) valorisée en biomasse énergie. Ce qui veut dire que pour atteindre l'objectif que s'est fixé le Grenelle de l'environnement (16 Mtep en 2020), il va falloir mobiliser plus de bois: améliorer la gestion et l'exploitation forestière, récupérer davantage de connexes (peut-on développer les activités de sciage ?), valoriser le petit bois et les rémanents.

Et il sera également nécessaire à moyen terme de se lancer dans une politique volontariste de mise en place de taillis intensifs à courte ou très courte révolution (TCR ou TTCR), dédiés à la production d'énergie. Ces cultures énergétiques devront trouver leur place en milieu forestier et agricole (voir chapitre 12, Les cultures énergétiques).

À très court terme, la question ne se pose pas, car nous avons la chance de ne mobiliser que 60 % des croissances annuelles (nous sommes dans une phase de stockage de la ressource et d'expansion de la forêt). Mais demain ? Et ceci d'autant plus qu'il faudra laisser vraisemblablement un peu de place à la filière agrocarburant de 2<sup>e</sup> génération qui va se « nourrir » également de produits lignocellulosiques !

Une nouvelle culture des débouchés multiples devra donc se mettre en place dans le milieu forestier, à l'instar de ce que l'on connaît en agriculture. Mais la partie n'est pas gagnée, tant la forêt filière bois privée ou publique reste très atomisée et très fragile. De plus, la gestion de la forêt privée répond davantage à une logique patrimoniale qu'à une logique industrielle. Or il s'agit là de marchés industriels qui demandent une contractualisation renouvelée et vraisemblablement une participation de l'amont à la première transformation (figure 10.2).

On comprend pourquoi un grand industriel du chauffage a préféré investir dans une société forestière pour assurer les ressources de ses chaufferies au bois, plutôt que de contractualiser avec une multitude d'acteurs.

Aux agriculteurs et aux forestiers de se mobiliser pour profiter de cette aubaine... durable et d'améliorer la qualité de leur production.

<b>Les filières du bois énergie</b>	
<b>Aujourd'hui :</b>	<b>En 2020 :</b>
30 Mm <sup>3</sup> /an de bois bûche	30 Mm <sup>3</sup> /an de bois-bûche environ
+ 4 Mt/an de DIB (déchets industries banals) connexes et bois de récupération	+ 15 Mt/an de DIB et de pailles
+ 0,5 Mt/an de plaquettes forestières	+ 15 Mt/an de plaquettes forestières
+ 0,3 Mt/an de « pellets » (granulés)	+ 2 à 4 Mt/an de pellets, agropellets et cultures dédiées ?
<b>et 30 000 emplois</b>	<b>et 50 à 60 000 emplois ?</b>
<b>La valorisation énergétique de la biomasse génère une double valeur pour la ressource bois :</b>	
– une valeur combustible d'environ 60 €/t livrée ;	
– une valeur CO <sub>2</sub> évité d'environ 15 €/t livrée.	

**Figure 10.2: Les chiffres clés de la filière bois**

Source : ministère de l'Agriculture, 2011

### ⚠ Peut-on faire feu de tout bois ?

Le 4 février 2013, forte agitation dans la forêt de Tronçais, au cœur de cette cathédrale verte, chênaie majestueuse que l'on nous envie dans toute l'Europe ! On veut y construire, après défrichage, une scierie industrielle de 110 ha. Pour quoi faire ? Entre autres des granulés de bois pour une centrale électrique à biomasse située en... Belgique ! Et bien sûr cela suscite quelques réactions.

À faire retourner Colbert dans sa tombe.

Le projet a été abandonné, car il ne présentait pas un intérêt public majeur justifiant que l'on passe outre la directive européenne de protection des sites et habitats.

À Gardanne, cette fois-ci, dans un tout autre contexte, le 5 octobre 2014, rassemblement contre le projet qui consiste à transformer pour le bois énergie un des deux réacteurs de la centrale qui fonctionne encore au « maudit » charbon et aux résidus pétroliers qui polluent. 230 M€ sur la table, des emplois maintenus ou créés, 1 Mm<sup>3</sup> de bois traité. Mais avec quel approvisionnement ? Réponse : les forêts de la région, des Cévennes, du Jura, et si ça ne suffit pas des pays de l'Est et encore plus fort... du Canada !

Dans les deux cas, on parle de destruction des petites scieries, de l'impossibilité de développer en parallèle des filières locales bois énergie, qui participent au développement local et qui sont elles-mêmes créatrices d'emplois. C'est vrai.

Et ceci d'autant plus que ces projets bois énergie ont déjà tellement de peine à se développer. Pensez-donc : 75 % de la forêt est une forêt privée, appartenant à 3,5 millions de propriétaires, dont beaucoup ne savent même pas où se trouvent leurs parcelles ! Et il faut au minimum 25 ha pour commencer à gérer une forêt.

Mais alors, que faire ? On a déjà pris beaucoup de retard sur les objectifs fixés par le Grenelle de l'environnement : d'ici 2020, les énergies renouvelables doivent apporter l'équivalent de 20 millions de tep supplémentaires, dont 40 % doivent provenir de la forêt.

La barre est-elle placée trop haut ? Non, nous répond le GIEC.

Comment gérer les contradictions ? Peut-on faire coexister deux modèles qui ont tout pour s'affronter : un modèle industriel avec de grosses centrales qui nécessitent une standardisation, une économie d'échelle, et un modèle décentralisé avec de petites chaufferies locales et une filière en circuit relativement court ?

## Les gisements potentiels : combien et où ?

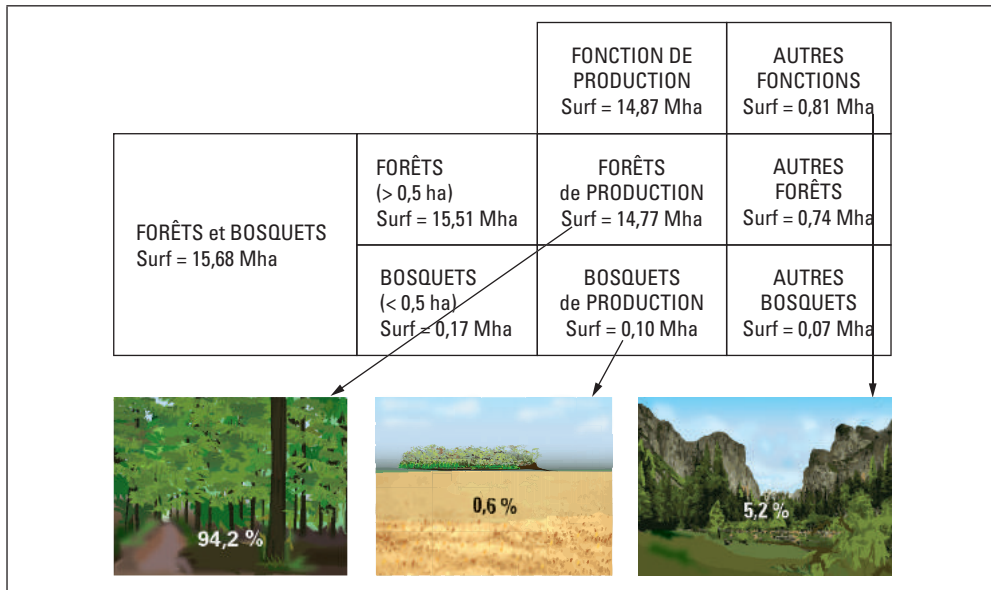
Les gisements de bois énergie sont issus des forêts, bosquets, peupleraies, haies, arbres épars et arbres urbains, landes, vignes et vergers (*figure 10.3*).

Et il faut distinguer les différentes destinations du bois ; on parle de compartiments. Ceux qui nous intéressent pour l'énergie sont (*figure 10.4*) :

- les BIBE : bois industriel ou bois énergie (branche avec fin bout supérieur à 7 cm comprenant les bûches ;
- le menu bois (fin bout inférieur à 7 cm) à destination des plaquettes et granulés.

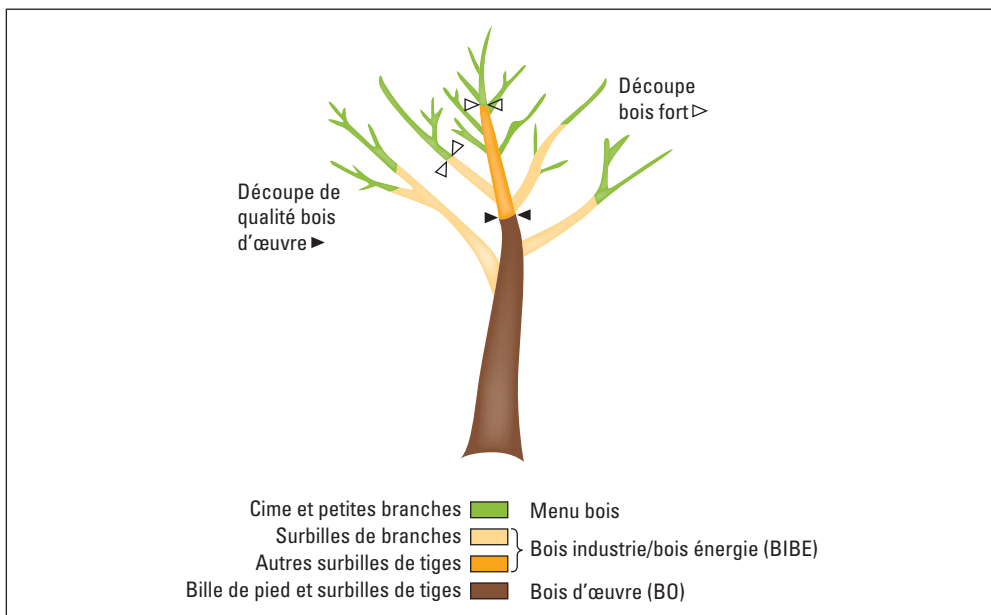
Gisement potentiel (*figures 10.5 et 10.6*) : dans le contexte économique actuel, la disponibilité supplémentaire en bois pour l'énergie, c'est-à-dire en plus des consommations actuelles, s'établit sur la période 2006-2020 :

- + 2,7 millions de tep/an en moyenne de BIBE (soit + 12 millions de m<sup>3</sup>/an) ;
- auxquels s'ajoute un gisement potentiel de 1,6 million de tep/an de MB (soit + 7,2 millions de m<sup>3</sup> par an), ces derniers étant *a priori* plus difficiles à mobiliser que les précédents.



**Figure 10.3: La forêt disponible pour la biomasse**

Source : ADEME, 2009



**Figure 10.4: Les compartiments de valorisation du bois**

Source : ADEME



**Photo 13.2: Une installation de méthanisation**

Source : © RAEE

## Où sont les gisements d'énergie ?

### Les gisements agricoles

Les déjections d'élevage représentent un gisement brut de production de 183 Mt de matières brutes (MB). À l'horizon de 2030, en tenant compte des contraintes relatives à la mobilisation, le gisement mobilisable peut atteindre les 100 Mt de matières brutes, soit 22 TWh grâce à la méthanisation.

Les pouvoirs « méthanogènes » ne sont bien évidemment pas les mêmes selon les déjections; rapportées à la matière sèche (MS) – et non pas à la matière brute (MB) –, la densité énergétique ( $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{MS}$ ) est nettement en faveur des lisiers porcins, cuniculicoles et avicoles, ce qui est plutôt une bonne nouvelle (*tableau 13.2*).

On ne sera pas surpris de voir sur la carte de France que les gisements d'effluents par région reflètent la réalité de notre agriculture (*figure 13.1*).

Tableau 13.2: Le pouvoir méthanogène de divers substrats

Sous-catégorie	% MS/MB	% MO/MS	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t MB	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t MS
Fumier vaches laitières	17 %	80 %	29	168
Fumier vaches allaitantes	17 %	80 %	29	168
Fumier autres bovins	17 %	80 %	29	168
Fumier ovins	30 %	80 %	58	192
Fumier caprins	45 %	80 %	83	184
Fumier porcins	30 %	80 %	58	192
Fumier lapins	36 %	80 %	78	216
Fumier volailles	60 %	80 %	144	240
Fumier équins	45 %	80 %	119	264
Lisier vaches laitières	10 %	80 %	16	160
Lisier vaches allaitantes	10 %	80 %	16	160
Lisier autres bovins	10 %	80 %	16	160
Lisier porcins	5 %	80 %	12	232
Lisier lapins	22 %	80 %	44	200
Lisier vaches volailles	15 %	80 %	36	240

Source : ADEME

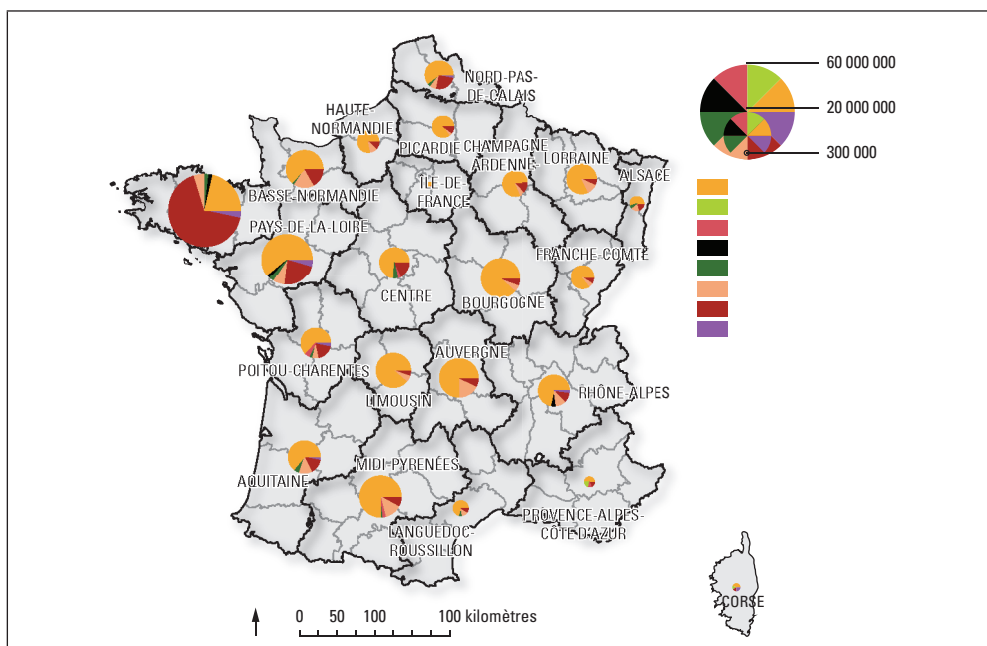


Figure 13.1: Le gisement brut de production d'effluents d'élevage à l'horizon 2030 en t/an

Source : ADEME



## Un digesteur qui boit du petit lait... (Savoie)

### Fromagerie :

- volume de lait transformé : environ 1,5 Ml/an de lait ;
- production de fromage à pâte pressée mi-cuite au lait de vache (le tamié), 400 kg de fromage/jour.

### Objectifs poursuivis :

- dépollution des effluents de la fromagerie (eau blanche et surtout lactosérum) ;
- économie d'énergie ;
- traitement *in situ* des effluents (économie de coût de transport).

### Effluents :

- le lactosérum (extrêmement chargé en matières organiques) : 4 m<sup>3</sup>/jour de 60 à 80 kg DCO (Demande chimique d'oxygène) par m<sup>3</sup> (soit la pollution de plus de 500 équivalents habitants/jour). Qualité constante ;
- les eaux blanches (beaucoup plus diluées) : 8 m<sup>3</sup>/jour à 2-3 g de DCO/l ;
- effluent résultant du mélange : 12 m<sup>3</sup>/jour à 22 kg DCO/m<sup>3</sup>.

### Installation :

- le digesteur UASB (en boues granuleuses), maintenu à une température de 26 à 30 °C par des résistances électriques (pour sécuriser l'installation), avec contrôle du pH ;
- volume du digesteur : 43 m<sup>3</sup>, stockage du biogaz dans un gazomètre à cloche de 2-3 m<sup>3</sup> ;
- chaudière à gaz pour valoriser le biogaz (60 kW) qui fonctionne entre 15 à 17 h par jour, pour la production d'eau chaude de la fromagerie et de l'eau chaude sanitaire.

### Processus :

- le lactosérum est dégraissé par centrifugation, stocké dans un bassin tampon de 22 m<sup>3</sup> avec agitateur (2 jours), puis il passe dans un aéro-flottateur, puis un bac tampon qui alimente le digesteur ;
- très bon fonctionnement lié à la qualité constante du substrat.

### Digestat :

- ne contient plus que 95 % de la DCO d'origine (1 kg/m<sup>3</sup>) ;
- les 30 m<sup>3</sup> de boues annuelles sont stockées puis épandues sur les terres.

### Production et consommation d'énergie :

- production de biogaz : 131 m<sup>3</sup>/jour (60 à 70 % de méthane, 48 000 m<sup>3</sup>/an) ;
- production de chaleur : 268 800 kWh/an ;
- consommation d'énergie : 90 000 kWh/an ;
- récupération nette : 178 800 kWh/an.

**Investissement\*** : 255 000 € (2003), dont 168 000 € pour le méthaniseur. Subvention : 55 % (Agence de l'eau, 33 %, FEDER, ADEME, région, conseil général).

### Résultats techniques :

- 1 000 l de petit-lait produisent 30 l de fioul brut et 20 l en net (énergie de fonctionnement) ;
- pollution : avant méthanisation : 22 DCO/l ; après méthanisation et décanteur : 0,8 DCO/l ;
- couverture totale des besoins en eau chaude sanitaire (50 personnes en permanence).

### Résultats financiers :

- coûts évités : traitement du lactosérum : 1 080 €/mois et transport ;
- économie liée à la substitution : 7 800 € ;
- temps de retour sur investissement constaté : 4 ans avec subvention ; 9 ans hors subvention.

Source : Abbaye de Tamié, 2014

\* L'investissement équivalent en 2014 se situerait entre 600 000 et 700 000 €.



**Les agriculteurs et les forestiers se trouvent au premier plan de la lutte contre le réchauffement climatique. Dans ce contexte, comment les aider à pratiquer une agriculture durable qui réponde aux préoccupations actuelles et qui s'inscrit dans la transition énergétique ?**

Ce guide leur donne toutes les clés pour comprendre les enjeux auxquels ils doivent faire face : qu'ils soient techniques et économiques, politiques ou environnementaux.

L'auteur tente d'apporter une réponse en dressant :

- un panorama synthétique du contexte énergétique et environnemental actuel
- une présentation des opportunités pour l'agriculture en général et pour chaque exploitant agricole en particulier
- une présentation des différents types d'énergies renouvelables illustrées par des exemples et des cas concrets au travers :
  - de la biomasse sèche : le bois-énergie, la paille et le grain-énergie, les cultures énergétiques...
  - de la méthanisation et de la production de biogaz
  - de la biomasse carburant : agroc carburants, huiles végétales, biométhane...
  - de l'éolien
  - du solaire thermique et du photovoltaïque
  - de la micro-hydraulique
  - de la géothermie
  - des pompes à chaleur

---

***Bernard Pellecuer** est ingénieur agronome, docteur ingénieur et consultant.  
Il a été directeur de chambre d'agriculture.*

ISBN : 978-2-85557-277-2

