

2 - POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES (ENR)

INTRODUCTION

L'Etat français s'est engagé aux côtés de ses partenaires de l'Union Européenne sur les objectifs à atteindre dans le cadre de la stratégie de développement des Energies Renouvelables, à savoir porter à 15% la part de ces énergies dans le bilan énergétique de l'Union d'ici 2010. Ces dispositions ont été approuvées par le Parlement Européen en reconnaissant le rôle essentiel que les EnR peuvent jouer dans la lutte contre l'effet de serre, tout en contribuant à la sécurité de l'approvisionnement énergétique et à la création d'emplois dans les petites et moyennes entreprises et les régions rurales.

Le supplément d'électricité issu des EnR est fixé globalement à 40 TWh pour la France, ce qui portera la contribution des EnR de 15 à 21 % à l'échéance de 2010.

Dans quelle mesure la Bourgogne peut-elle participer à cette évolution et diversification des sources de production d'électricité? Cette partie de l'étude présente un état des lieux de la production d'énergies d'origine renouvelable et propose un potentiel de développement de chaque énergie renouvelable.

2.1 COGENERATION

2.1.1) Définition

☆ Description de la technologie et de ses applications

La cogénération est un système de production énergétique qui permet de produire simultanément de la chaleur et de l'électricité. La chaleur est produite par récupération de l'énergie non exploitée dans les autres systèmes de production électrique.

La cogénération permet d'économiser jusqu'à 40% de l'énergie primaire destinée à couvrir les besoins de chaleur et d'électricité de façon décentralisée. L'efficacité énergétique du système est donc optimisée.

Si la cogénération est pour l'instant surtout utilisée dans l'industrie et les grands réseaux de chaleur, un immense champ d'application réside dans l'habitat. En effet, des réalisations de petite cogénération (d'une puissance électrique inférieure à 500 kW) ont été réalisées avec succès, notamment dans le logement social. Il existe des systèmes de cogénération couvrant l'ensemble des gammes de puissance, de quelques dizaines de kW (microcogénération) à plusieurs dizaines de MW.

La production simultanée de chaleur et d'électricité peut être obtenue par des moteurs à gaz ou diesel et des turbines à gaz ou à vapeur. La cogénération peut également être produite à partir de biomasse (bois-énergie, biogaz, biocarburant)

☆ Eléments économiques

La réglementation fixe aujourd'hui une fourchette de rachat par EDF de l'électricité produite dans les installations de cogénération entre 215 kW et 12 MW mais ces tarifs varient de 6,1 à 9,15 centimes d'euros en fonction du prix du gaz, de la durée de fonctionnement et de la puissance de l'installation. Des primes sont délivrées l'hiver en fonction de la disponibilité de l'installation. La valorisation de l'énergie thermique est également favorisée par des primes.

☆ Diffusion de la technologie

En Europe, la cogénération représente 8% de la production d'électricité (dont 70% de cogénération industrielle). Les ¾ de cette production sont réalisés par l'Allemagne, les Pays-Bas et l'Italie. La France représente 2% de la production européenne, avec 1000 installations pour une puissance cumulée de 4 GW.

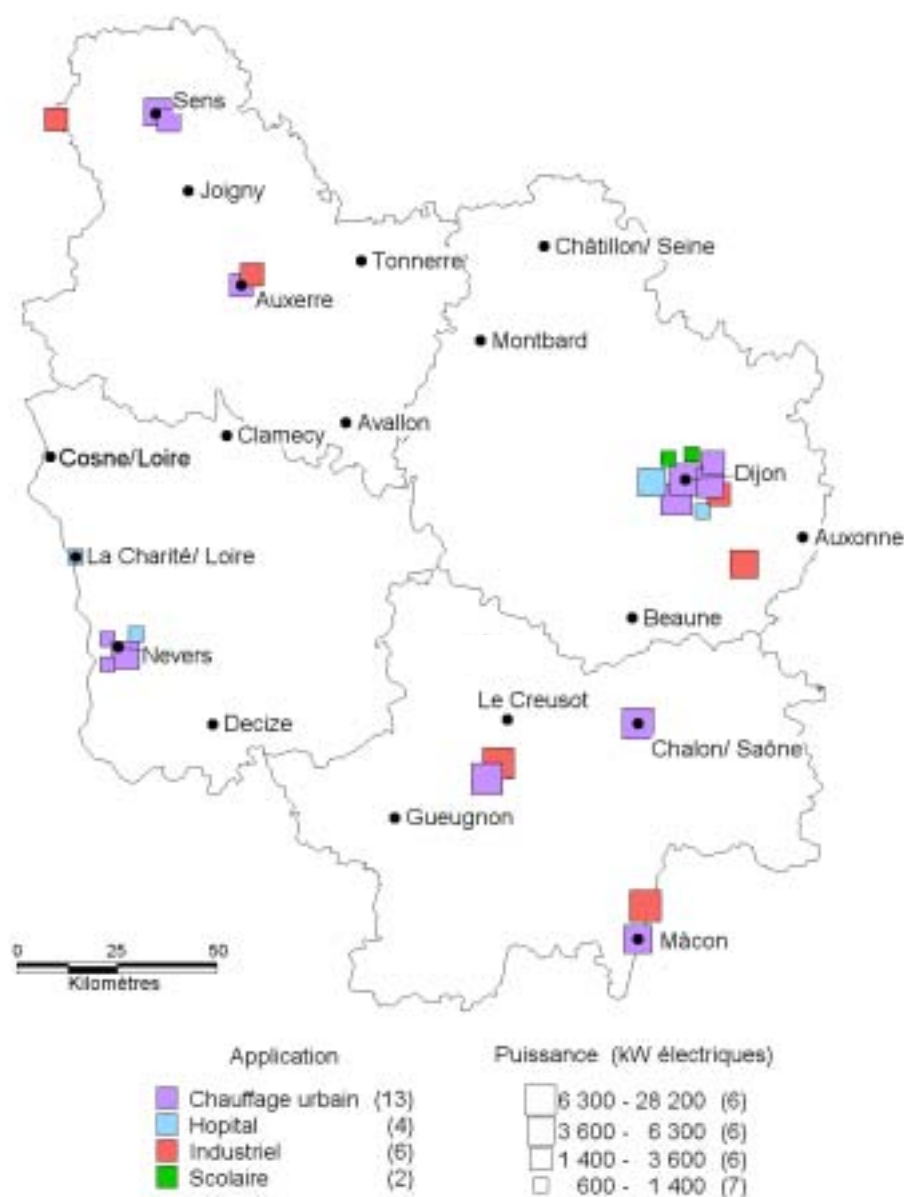
2.1.2) Etat des lieux

☆ Installations existantes

Il existe 25 installations de cogénération en Bourgogne représentant une puissance électrique cumulée de 115 MW. Contrairement à la moyenne nationale, où les installations de cogénération sont essentiellement industrielles, la cogénération en Bourgogne est surtout appliquée aux réseaux de chauffage urbain.

Actuellement 4 demandes de raccordement d'installations de systèmes de cogénération sont déposées auprès du RTE d'une puissance cumulée totale de 19 MW. Ces projets sont situés en Côte d'Or et en Saône-et-Loire.

Installations de cogénération en 2003 en Bourgogne : application et puissance
Source : ADEME



2.2 ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

2.2.1) Définition

☆ Description de la technologie et de ses applications

Un module photovoltaïque, composé de cellules de silicium connectées entre elles en série et encapsulées sous une plaque de verre, transforme la lumière du soleil en électricité en utilisant l'énergie contenue dans les photons. La puissance unitaire des modules les plus répandus sur le marché est de 50 à 100 Wc en moyenne¹³ ; la tension nominale est de 12V en courant continu. Le rendement actuel des cellules de silicium cristallin (de 11 à 17 %) fait que la surface moyenne des modules (cadres inclus) est de l'ordre de 100 Wc par m². En fonction de la tension et de la puissance désirée, les modules sont connectés ensemble pour former un "champ photovoltaïque".

Suivant les applications, un système photovoltaïque peut fonctionner « au fil du soleil » (la puissance électrique fournie au récepteur est directement fonction de l'ensoleillement), ou avec stockage. Les systèmes au fil du soleil fonctionnent parfaitement pour le pompage de l'eau qui peut être stockée dans un réservoir. Les générateurs photovoltaïques raccordés au réseau s'apparentent également à des systèmes de production au fil du soleil : le courant produit alimente en priorité les appareils électriques du bâtiment et l'excédent est injecté dans le réseau public (celui-ci complétant les besoins dès que la puissance appelée est supérieure à la puissance produite sur le site).

Pour l'alimentation autonome de sites non raccordés au réseau, un système photovoltaïque est toujours muni d'un parc de batteries, ce qui permet d'assurer une très bonne continuité de service (autonomie de 6 à 11 jours en général selon les applications)¹⁴. C'est aujourd'hui la filière la plus développée en France, notamment depuis 1995 avec la mise en place de la défiscalisation dans les DOM et de l'enveloppe spécifique EnR du FACE permettant de financer ce type d'équipement lorsque sa mise en place est moins coûteuse qu'une extension du réseau (près de 1400 sites acceptés au FACE à fin 2000, dont la moitié en Métropole).

☆ Eléments économiques

Pour des installations raccordées au réseau, le coût de l'énergie photovoltaïque est encore très élevée. L'utilisation de cette énergie traduit plus une volonté politique de développement d'une filière qu'un choix énergétique et financier. Les tarifs français du rachat de l'électricité photovoltaïque par EDF, fixés par l'arrêté du 13 mars 2002, sont de 15,25 centimes d'euros le kWh en France métropolitaine et de 30,5 centimes d'euros le kWh (diminué de 5% par an à partir du 1^{er} janvier 2003) dans les départements d'Outre-Mer et en Corse. A titre de comparaison, en Allemagne, le kWh est racheté 45,7 centimes d'euros. Le coût d'installation d'un générateur photovoltaïque raccordé au réseau varie entre 6 et 10 Euros par Wc, en fonction notamment des technologies d'intégration au bâti choisies.

Pour les sites isolés, non raccordés au réseau, l'énergie solaire photovoltaïque s'impose souvent comme l'une des solutions les plus économiques dès que la distance au réseau est supérieure à environ 1 km. Ce seuil de distance varie en fonction de la nature du terrain et du type de réseau à prévoir (aérien ou souterrain) qui influent fortement sur le coût de raccordement (entre 15 000 et 100 000 euros le kilomètre). A titre d'exemple, l'équipement d'une résidence secondaire ou d'un refuge coûte entre 6 500 et 15 000 euros pour une production moyenne de 500 Wh/jour (soit 6 à 10 lampes, télévision, radio, petit électroménager, petit réfrigérateur). Pour une habitation principale, l'investissement est de l'ordre de 50 000 euros. Le coût d'installation moyen en site isolé se situe aujourd'hui entre 20 et 25 Euros par Wc.

¹³ La puissance d'une installation photovoltaïque est exprimée en Watt crête (Wc), unité qui indique la puissance électrique que le système peut délivrer lorsque les modules sont éclairés par un ensoleillement de 1000 W/m² (qui correspond en moyenne à la puissance incidente obtenue à midi en exposition sud).

¹⁴ Un onduleur permet de convertir le courant continu en courant alternatif 230V / 50 Hz, de façon à alimenter l'utilisateur selon les mêmes normes que tout client raccordé au réseau.

2.2.2) Etat des lieux

☆ Données climatologiques

La région est située dans une zone d'ensoleillement médiane avec en moyenne 1841 heures d'ensoleillement par an (contre 2655 à Bastia et 1600 à Lille).

Les variations locales intra-départementales sont minimales : l'ensoleillement de la région est homogène, avec toutefois un léger avantage pour la Saône-et-Loire.

	Lille	Marseille	Strasbourg	Dijon	Auxerre	Nevers	Mâcon
Moyenne annuelle d'ensoleillement reçu par un plan incliné à 35° orienté au sud. (en kWh/an/m²)	1110	1830	1250	1300	1270	1300	1370

Chaque année, l'ensemble du territoire de la Bourgogne reçoit 37 600 TWh d'énergie provenant du soleil. L'énergie ainsi perçue par 1% de la surface totale de la Bourgogne est équivalente à la consommation électrique annuelle de la France (soit 400 Twh environ). Ces valeurs ne sont toutefois pas réellement comparables puisqu'il s'agit d'énergie thermique (primaire) incidente dans un cas, et électrique, directement utilisable, dans l'autre. Leur mise en vis à vis ici a simplement pour vocation d'illustrer combien l'énergie solaire perçue chaque année est importante, et ce même pour une région qui n'est pas réputée pour son ensoleillement excessif.

Pour produire l'équivalent de la consommation annuelle électrique de la Bourgogne à partir de l'énergie solaire photovoltaïque, il faudrait installer 95 km²¹⁵ de modules solaires photovoltaïques, soit environ 0,3 % de la surface totale de la région.

Pour garantir une production optimale, les panneaux solaires photovoltaïques doivent être positionnés sur un plan incliné de 35° orienté au Sud. Le rayonnement reçu en Bourgogne par un plan de 1 m² incliné à 35° orienté au sud est d'environ 1300 kWh en moyenne. Les écarts entre les cinq principales stations météo de la région sont peu significatifs (inférieurs à 2%). Dans ces conditions, l'installation d'une surface de 35m² de panneaux solaires photovoltaïques est suffisante pour couvrir totalement la consommation moyenne électrique (hors chauffage et eau chaude sanitaire) d'un ménage (soit 3000 kWh par an en moyenne).

☆ Les installations photovoltaïques en Bourgogne

L'énergie solaire photovoltaïque est peu développée en Bourgogne. Les installations existantes sont surtout de petites installations d'une centaine de Wc destinées au traitement des eaux. Sur les 57 installations photovoltaïques existantes en 2003, 50 sont des sites isolés. Les plus puissantes installations (entre 2000 et 6000 Wc) fournissent de l'électricité à des habitations non raccordées au réseau. La surface totale de modules solaires photovoltaïques installée est de 410 m². Cela représente une surface moyenne de 0,25 m² pour 1000 habitants; soit 100 fois moins que la moyenne nationale (qui est de 25 m² pour 1000 habitant).

☆ Aides à l'investissement

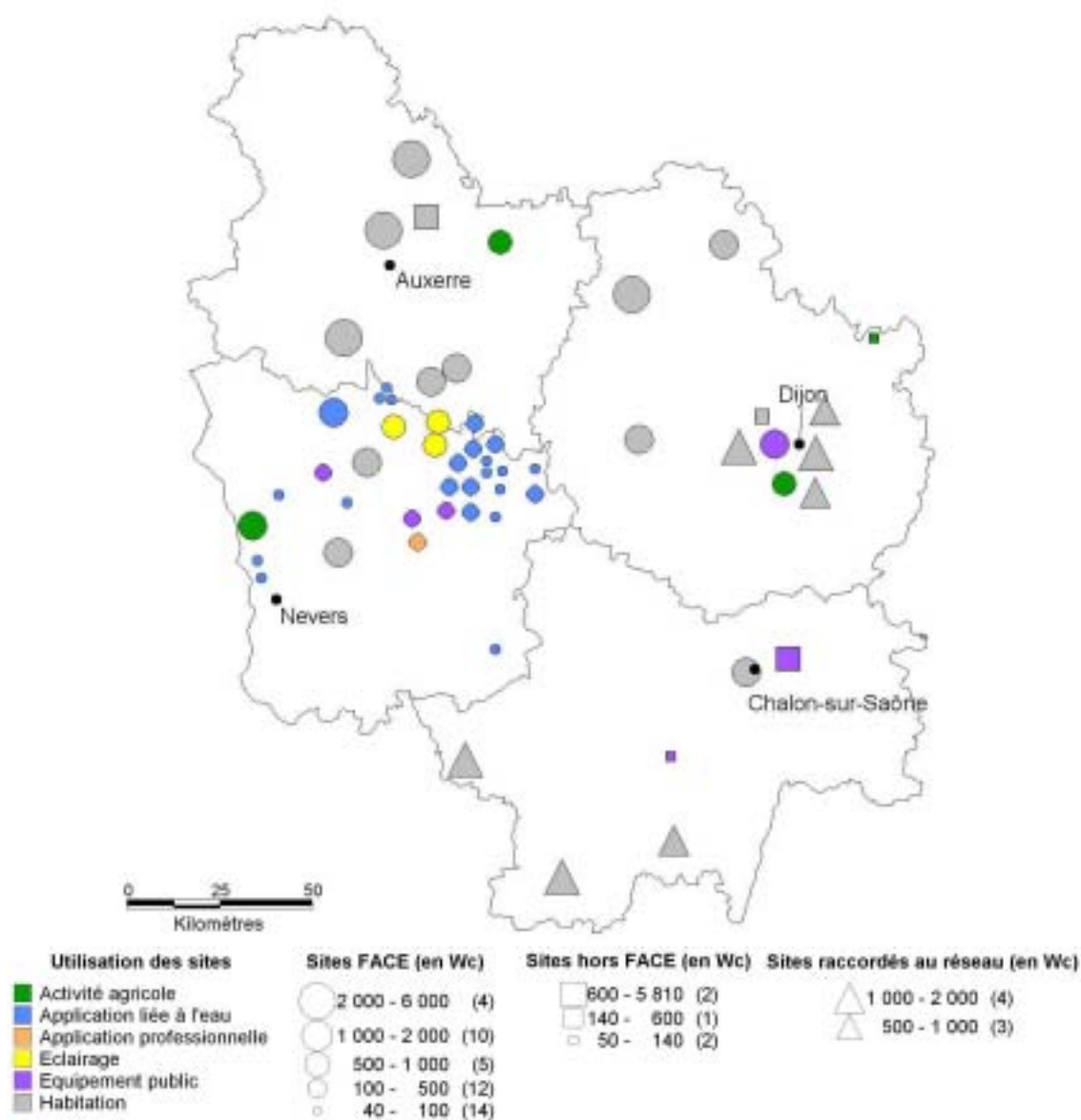
Les principales aides au financement pour le photovoltaïque sont le PREMED (Programme Régional, Environnement, Maîtrise de l'énergie, Déchets), financé par l'ADEME et la Région, et le FACE (Fonds d'Amortissement des charges d'électrification), qui intervient uniquement pour les sites isolés, sur les territoires des syndicats d'électrifications.

Pour un générateur photovoltaïque raccordé au réseau, les aides du PREMED s'élèvent à 60% maximum sur les coûts éligibles (mais ne s'élèvent qu'à 40% dans la grande majorité des cas) avec une puissance plafonnée à 5 kWc pour les particuliers et 15 kWc pour le secteur collectif. Au-delà de ces plafonds, chaque projet est examiné au cas par cas. Les sites pour lesquels une démarche approfondie de MDE est engagée sont favorisés.

Pour la production d'électricité en site isolé, les aides sont de 75% des coûts éligibles en régime urbain (40% du PREMED et 35% d'EDF) et de 95% en régime rural (financement par le FACE à hauteur de

¹⁵ Un seul champ de modules photovoltaïques couvrirait en fait une surface au moins 2 fois plus grande, pour tenir compte de l'écartement nécessaire entre les différentes structures pour éviter les ombres portées.

65% du montant TTC des travaux, la récupération de la TVA et un complément du PREMED limitant à 5% la participation du bénéficiaire). Le FACE apporte son financement uniquement dans le cas où la production autonome sur site est moins coûteuse que l'extension du réseau.



Installations solaires photovoltaïques en Bourgogne en 2003

Utilisation, puissance et caractéristiques réseau.

Source : ADEME

☆ Production actuelle

En 2003, la puissance totale installée en Bourgogne s'élève à 41 kWc et représente une production annuelle moyenne de 34 MWh. La puissance installée représente 0.2% du marché français, dont les 16,7 MWc installés correspondent pour 75% à des applications hors réseau, essentiellement localisées dans les DOM-TOM. A l'inverse, dans les autres pays européens, les installations solaires photovoltaïques sont raccordées au réseau pour la plupart. La France est à la cinquième place derrière l'Allemagne (278MWc), les Pays-Bas (28,3 MWc), l'Italie (23 MWc) et l'Espagne (19,2 MWc), mais les chiffres français sont tirés vers le haut par les nombreuses installations situées dans les DOM-TOM.

2.2.3) Potentiel en solaire photovoltaïque en Bourgogne

De manière tout à fait théorique, on peut évaluer un potentiel de production d'électricité par l'énergie solaire photovoltaïque en supposant arbitrairement que 10% des habitations sont équipées de modules solaires photovoltaïques (20 m² pour les maisons et 5m² par appartement).

	Côte d'Or	Nièvre	Saône et Loire	Yonne
Nombre total de maisons individuelles	113 800	73 495	154 438	102 988
Nombre total de logements collectifs	89 519	22 166	65 500	28 817
Hypothèse de puissance installée (en kWc)	27 200	15 800	34 200	22 000

Avec 10% du nombre total de logements équipés de générateurs solaires photovoltaïques raccordés au réseau de 2 kWc pour les maisons individuelles et de 0,5 kWc pour les appartements, la puissance potentielle atteint 99 200 kWc sur l'ensemble de la Bourgogne pour une surface installée d'environ 1 km².

La production moyenne d'un générateur photovoltaïque raccordé au réseau en Bourgogne est de 920 kWh /an par kWc installé. Cette valeur a été minorée pour tenir compte d'inclinaison et d'orientation moins favorables dans le cadre d'une diffusion sur de nombreux logements (inclinaison de 30 à 40°, orientations décalées jusqu'à 90° par rapport au Sud).

En fonction du rayonnement et de l'énergie solaire reçue, le rendement des panneaux solaires photovoltaïques (orientés au sud et inclinés à 35°) permet de produire en moyenne 830 kWh/an pour une puissance installée de 1 kWc.

	Côte d'Or	Nièvre	Saône et Loire	Yonne
Production moyenne pour 1 kWc (en kWh/an)	113 800	73 495	154 438	102 988
Hypothèse de puissance installée (en kWc)	27 200	15 800	34 200	22 000
Hypothèse de production (en MWh/an)	22 400	13 100	29 700	17 700

D'après l'hypothèse de départ, on obtient un potentiel de production d'électricité par l'énergie solaire photovoltaïque en Bourgogne de **82 900 MWh/an**. Cette production est équivalente à la consommation électrique de la ville d'Autun (84 600 MWh/an pour 17 000 habitants).

L'investissement correspondant à ces 99 200 kWc serait de l'ordre de 600 millions d'euros.

2.2.4) Actions à mener pour développer la filière

Le solaire photovoltaïque souffre de son prix d'installation encore très élevé aujourd'hui, au regard des capacités unitaires de production. Pour des sites raccordés au réseau, cette solution ne peut pas être considérée comme la plus économiquement ou énergétiquement intéressante ; sa diffusion traduit plus une volonté politique de diversification énergétique, avec comme objectif une baisse des coûts liée à l'augmentation de l'offre. Dans le cas de sites isolés éloignés du réseau de distribution, cette solution est la meilleure alternative et s'adapte parfaitement aux conditions locales.

Le solaire en général bénéficie d'une très bonne image auprès de la population¹⁶ et la demande augmente pour des générateurs photovoltaïques raccordés au réseau. Il est important que des installateurs locaux puissent répondre à cette demande, et il est nécessaire que ces installateurs soient formés aux spécificités de cette technologie.

Ce marché reste toutefois une niche, et les électriciens souhaitant y intervenir devront pouvoir travailler aussi bien en sites isolés qu'en raccordé au réseau. Compte tenu des volumes financiers prévus sur les programmes de soutien mis en place, le solaire photovoltaïque doit pour l'instant n'être perçu par un installateur local que comme une diversification d'activité, et non pas comme un marché en soi.

Pour développer plus en avant cette filière en Bourgogne, il serait nécessaire de mettre en place un programme d'aide au financement plus ambitieux, et de former des acteurs locaux à la diffusion de l'information et à l'installation des systèmes.

¹⁶ 1000 conseils ont été diffusés par l'Espace Info Energie de Bourgogne entre mars 2002 et avril 2003 sur le solaire (dont 30% sur le photovoltaïque) contre 250 pour le bois et seulement 30 pour l'éolien.

2.3 ENERGIE SOLAIRE THERMIQUE

2.3.1) Définition

☆ Description de la technologie et de ses applications

Les capteurs thermiques transforment l'énergie du rayonnement solaire en chaleur pour produire de l'eau chaude. Les capteurs thermiques vitrés se comportent comme une serre. Les rayons du soleil traversent un panneau de verre pour atteindre des absorbeurs métalliques, auxquels ils cèdent leur énergie. La chaleur est transmise à des tuyaux de cuivre contigus, réchauffant le fluide caloporteur qui y circule. La température du fluide peut atteindre 60 °C. L'énergie est transmise à un ballon d'eau chaude sanitaire par un échangeur. Le stock d'eau chaude ainsi créé permet une utilisation de jour comme de nuit. Une installation classique comporte un ou plusieurs capteurs solaires, reliés à un ballon de stockage par un système de circulation.

Cette eau est le plus souvent utilisée pour les besoins en eau chaude sanitaire, mais une autre application consiste à chauffer une habitation par un plancher solaire direct constitué d'un circuit de tuyaux situés dans le plancher dans lequel l'eau chaude circule et libère sa chaleur. Le circuit de circulation achemine le fluide des capteurs vers le ballon par des canalisations. Après avoir réchauffé l'eau sanitaire ou le plancher solaire, le fluide retourne vers la source de chaleur afin de se "recharger" en énergie.

L'énergie solaire thermique est le plus souvent utilisée pour des chauffe-eau solaires individuels ou collectifs (notamment dans les établissements de santé pour lesquels le besoin en eau chaude est important et permanent) mais convient également très bien à des applications saisonnières comme le chauffage de l'eau des piscines ou des campings.

Pour une application domestique, la surface de capteurs nécessaire pour couvrir au minimum 60% des besoins annuels d'eau chaude d'une famille de 4 personnes est d'environ 4 m². La surface nécessaire varie entre 2 m² pour une habitation très ensoleillée de deux personnes et 7 m² pour une habitation faiblement ensoleillée de huit personnes.

Pour un chauffe-eau solaire collectif alimentant un ballon de 10 000 litres, la surface de panneaux solaires nécessaire varie entre 120 et 150 m² environ selon les conditions d'ensoleillement.

Pour le chauffage des piscines de plein air dont l'activité est saisonnière, les capteurs solaires sont simplifiés, sans vitrage et s'apparentent à de la moquette ; leur utilisation permet de diminuer le coût des installations tout en conservant un bon niveau de performance.

☆ Eléments économiques

Le prix moyen d'1 m² de capteurs solaires thermiques est d'environ 600 euros. Ainsi, l'installation (fourniture du matériel et pose comprises) d'un chauffe-eau solaire individuel comportant 4 m² de capteurs et un ballon de 250 litres coûte environ 3 000€.

2.3.2) Etat des lieux

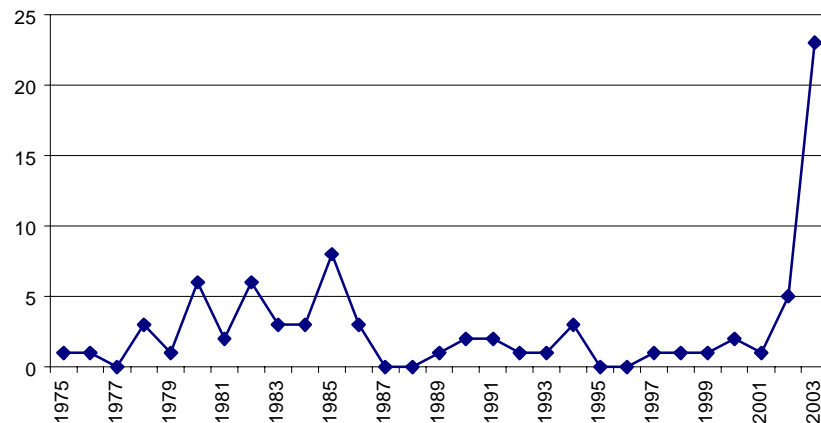
☆ Données climatologiques

Les données d'ensoleillement pour la Bourgogne sont présentées au paragraphe 2.1.2). En Bourgogne, un chauffe-eau solaire individuel de 4 m² produit en moyenne 1500 kWh/an (d'énergie thermique).

☆ Les installations solaires thermiques en Bourgogne

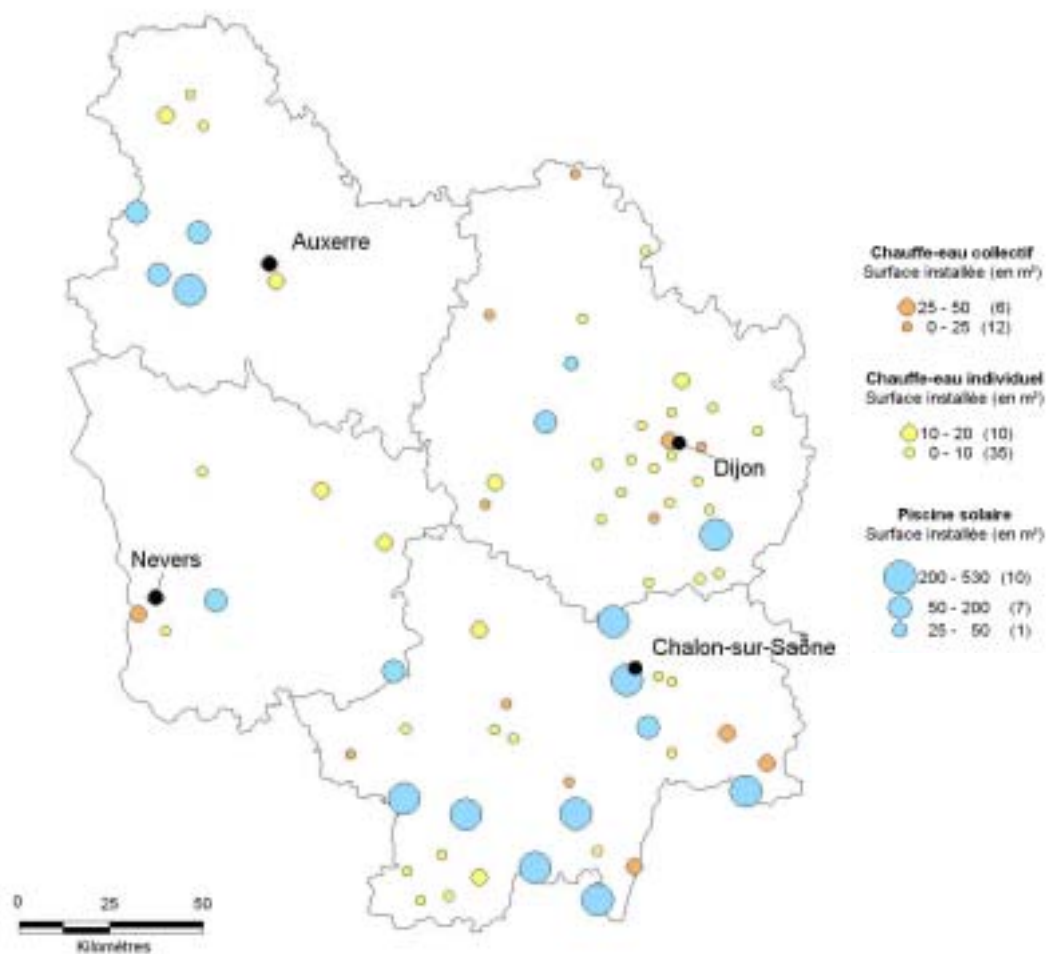
L'énergie solaire thermique reste peu développée en Bourgogne même si son implantation initiale est ancienne : les premières installations datent de 1975, mais les projets ne se sont multipliés qu'en 2003.

*Evolution du nombre d'équipements solaires thermiques installés par an entre 1975 et 2003
(toutes applications confondues – la valeur pour 2003 correspond à une hypothèse basse basée sur les demandes de financement acceptées par le PREMED en 2002 et dont l'installation n'était pas réalisée à fin 2002).*



Il n'existe aujourd'hui que 81 sites équipés de panneaux solaires thermiques ; il s'agit essentiellement de chauffe-eau solaires individuels.

*Les installations solaires thermiques en Bourgogne en 2003
Application et surface installée.
Source : ADEME*



Plus des ¾ de ces installations sont situées dans les départements de la Côte d'Or et de la Saône et Loire. Cette observation peut être mise en relation avec le nombre d'installateurs Qualisol qui est plus important dans ces deux départements : sur les 75 installateurs adhérents à cette charte de qualité mise en place par l'ADEME garantissant la fiabilité des installations, 27 sont localisés en Saône-et-Loire, 26 en Côte d'Or, 17 dans l'Yonne et seulement 6 dans la Nièvre.

☆ Aides à l'investissement

Dans le cadre du PREMEDI, l'ADEME et la Région favorisent la diffusion de l'énergie solaire thermique en allouant des aides sur les coûts éligibles. Les aides allouées à l'installation d'un chauffe-eau solaire individuel varient selon la surface de capteurs installés : pour une surface installée comprise entre 2 et 3 m², le montant de l'aide s'élève à 1380 euros. Il passe à 1840 euros pour une surface installée comprise entre 3 et 5 m² et à 2300 euros pour une surface supérieure à 5 m². Dans le cadre d'opérations exemplaires d'installation d'un système combiné, les aides peuvent couvrir 40 à 60 % des coûts éligibles. Pour des installations plus habituelles, l'aide s'élève à 2300 euros par opération auxquels il faut ajouter 1520 euros s'il y a une intégration au bâti et de nouveau 1520 euros selon l'efficacité de l'installation (couverture d'au moins 25% des besoins annuels de chauffage et d'ECS).

☆ Production actuelle

En 2003 la surface totale de capteurs solaires thermiques installés en Bourgogne atteint 720m² permanents auxquels il convient d'ajouter les 4418 m² saisonniers des piscines solaires. En ne considérant que les installations permanentes, cela correspond à une surface installée de 0,4 m² pour 1000 habitants sur l'ensemble de la Bourgogne. La région est très en deçà de la moyenne française qui se situe à 11m² pour 1000 habitants. Avec cette valeur, la France est en huitième position en Europe derrière notamment l'Autriche (320 m² pour 1000 habitants), la Grèce (270 m²/1000 habitants) et l'Allemagne (58 m²/1000 habitants). A la fin de l'année 2002, la surface totale de capteurs solaires thermiques installés dans l'Union Européenne est estimée à 13 000 000 m². Cela correspond en moyenne à 34m² installés pour 1000 habitants.

La production actuelle est de l'ordre de 270 MWh pour les installations solaires thermiques liées à la production d'eau chaude sanitaire. La production correspondant aux piscines est délicate à évaluer, car elle est étroitement liée aux périodes d'ouvertures et à la fréquentation des piscines.

2.3.3) Potentiel en énergie solaire thermique en Bourgogne

De même que pour l'énergie solaire photovoltaïque, on peut estimer un potentiel théorique de production par énergie solaire thermique en partant d'une hypothèse d'équipement où 10% des habitations sont équipées de panneaux solaires thermiques (4 m² pour les maisons et 2 m² par appartement).

	Côte d'Or	Nièvre	Saône et Loire	Yonne
Nombre total de maisons individuelles	113 800	73 495	154 438	102 988
Nombre total de logements collectifs	89 519	22 166	65 500	28 817
Hypothèse de surface installée (en m ²)	63 400	33 800	74 900	47 000

Si 10% du nombre total de logements sont équipés de panneaux solaires thermiques de 4 m² pour les maisons individuelles et de 2 m² pour les appartements, la surface installée potentielle atteint 219 000 m² sur l'ensemble de la Bourgogne.

En fonction du rayonnement et de l'énergie solaire reçue, le rendement des panneaux solaires thermiques permet de produire en moyenne 378 kWh/an pour une surface installée de 1 m² orientée au sud et inclinée à 35°.

	Côte d'Or	Nièvre	Saône et Loire	Yonne
Production moyenne pour 1 m ² (en kWh/an)	375	380	390	370
Hypothèse de surface installée (en m ²)	63 400	33 800	74 900	47 000
Hypothèse de production (en MWh/an)	23 900	12 900	29 200	17 500

D'après l'hypothèse de départ, on obtient un potentiel de production par l'énergie solaire thermique en Bourgogne de **83 500 MWh/an**. Cette production est équivalente à la consommation électrique de la ville d'Autun (84 600 MWh/an pour 17 000 habitants). L'investissement correspondant à cette production de 83 500 MWh/an serait d'environ 130 millions d'euros.

Cette production potentielle, déjà importante, correspond à une hypothèse d'équipement relativement basse, ne prenant pas en compte toutes les applications du solaire thermique. En ajoutant dans l'hypothèse de départ des équipements solaires thermiques sur des établissements de santé et des piscines, et en installant des systèmes solaires combinés, on pourrait augmenter très largement cette production potentielle.

2.3.4) Actions à mener pour développer la filière

Pour développer cette filière, il y aurait lieu de dynamiser le programme régional existant, à l'image de l'Alsace où cette énergie a pris un essor considérable grâce à une politique volontariste et une bonne diffusion de l'information. L'Alsace, qui dispose pourtant d'un rayonnement solaire relativement faible, est en tête des régions de France métropolitaine pour le nombre de m² de capteurs solaires par habitant. A travers l'utilisation de tous les types de supports d'information (télévision et presse locale), la participation à de nombreux colloques et salons et la création d'actions événementielles et publicitaires, la campagne de communication du Plan Soleil en Alsace a permis de largement sensibiliser les habitants à cette énergie. Aujourd'hui on peut considérer que le solaire est une nouvelle offre proposée par la majorité des professionnels chauffagistes, puisque dans cette région, près de 2 artisans sur 3 ont suivi une formation « solaire » pour mieux conseiller leurs clients (soit 315 installateurs Qualisol). L'objectif de ce plan pour 2003 était d'atteindre le nombre de 900 chauffe-eau solaires individuels : il est largement dépassé puisqu'on en comptabilise aujourd'hui 1500.

Il est important que les programmes d'aide au financement et la communication qui les entourent soient pérennes dans le temps. En effet, un installateur ayant eu la volonté de se former sur le solaire thermique doit pouvoir réaliser ensuite quelques installations par an non seulement pour rentabiliser cette diversification d'activité, mais aussi et surtout pour s'assurer de garder cette compétence. Le bénéfice d'une formation est rapidement perdu si aucune installation n'est réalisée dans l'année qui la suit.

Par ailleurs, le circuit administratif pour l'obtention des aides engendre un délai assez important qui peut gêner l'installateur dans sa démarche commerciale. Le délai dans le déblocage de ces aides est également peu compatible avec les contraintes de trésoreries de petites structures comme le sont la plupart des installateurs Qualisol en Bourgogne. De plus, la nécessité de présenter une demande pour chaque chauffe-eau solaire engendre un volume de travail important pour le demandeur et son installateur, mais aussi pour les financeurs dans l'instruction fastidieuse de ces dossiers.

Il serait souhaitable d'examiner les possibilités d'octroyer des volumes d'installation sur une ou plusieurs années à un installateur avec des procédures simplifiées de déblocage des aides.

Pour animer le réseau des installateurs Qualisol, les contacts obtenus par le point information énergie (et d'autres dont la mise en place est souhaitable) pourraient être utilisés. Le correspondant de l'espace info énergie pourrait, en accord avec la profession, enregistrer les demandes de devis et les transmettre à l'installateur le plus proche¹⁷, de façon à ce que les clients intéressés ne soient pas laissés seuls dans leur démarche suite à leur appel au point info énergie.

Par ailleurs, si le réseau d'installateurs est dense, il est à noter que pour la mise en œuvre d'installations solaires thermiques collectives, la Région manque de compétences en ingénierie spécialisée. L'émergence de plusieurs projets importants devrait permettre d'inciter une montée en compétence d'acteurs locaux sur le sujet, ou l'implantation d'une antenne d'un bureau d'étude spécialisé sur la région. Cette deuxième solution est souvent plus efficace à court terme, car elle permet de bénéficier très rapidement du retour d'expérience des intervenants. A défaut, il y a lieu d'inciter les maîtres d'ouvrage à consulter au delà de la Région ; ce qui apporte la garantie indispensable d'intervenants compétents pour des projets encore jugés innovants (Les bureaux d'études intervenants sur ces sujets ont de plus souvent l'habitude de travailler sur des zones géographiques très larges).

¹⁷ Il est également possible d'informer les 3 voire 5 installateurs les plus proches d'une demande de devis, et de transmettre les coordonnées du demandeur à celui qui se manifeste en premier et qui a le temps de faire le devis (et l'installation) dans le meilleur délai.

2.4 ENERGIE EOLIENNE

2.4.1) Définition

☆ Description de la technologie et de ses applications

La technologie a beaucoup évolué ces dernières années, amenant le coût de l'électricité éolienne dans des plages proches de celles des énergies traditionnelles. Les machines les plus courantes installées ces dernières années ont une puissance nominale de 600 ou 750 kW. La tendance est d'augmenter la puissance unitaire des machines ; les projets montés aujourd'hui le sont souvent avec éoliennes de 1,5MW. Le diamètre des pales est d'environ 40 mètres pour une machine de 600 kW à 75m pour une machine de 1,5MW. La nacelle, qui contient le rotor, est située à une hauteur généralement équivalente au diamètre des pales (60 à 80m en moyenne sur les projets actuels). Des prototypes de 3 ou 4 MW existent, notamment pour la construction de fermes éoliennes offshore.

La puissance délivrée par une éolienne dépend directement de l'énergie reçue sur la surface balayée par les pales. Cette énergie varie comme le cube de la vitesse du vent. La vitesse de démarrage se situe selon les machines entre 3 et 5 m/s. La puissance nominale est atteinte à partir de 10 à 15 m/s. La machine s'arrête pour se mettre en sécurité pour des vents au delà de 25 à 30 m/s.

La production d'une grande éolienne en Bourgogne, pour les zones favorables, peut être estimée en considérant un nombre d'heure de fonctionnement à puissance nominale de l'ordre de 1800 à 2000 heures par an. A titre de comparaison, sur la première année de fonctionnement, la production de l'éolienne de 1,2 MW installée en Champagne en 2002 a été équivalente à 2100 heures de fonctionnement, contre 2000 attendues.

Il existe également des éoliennes de puissance beaucoup plus faible (de 1kW à 15 kW) utilisées pour fournir de l'électricité à des sites isolés non raccordés au réseau.

☆ Eléments économiques

Les tarifs d'achat de l'électricité produite à partir d'éoliennes dépendent de la production annuelle, exprimée en nombre équivalent d'heures de fonctionnement à puissance nominale, et sont définis par l'arrêté du 8 juin 2001. Ils sont volontairement dégressifs en fonction de la production de façon à éviter que les demandes d'installations se concentrent trop dans les meilleures zones du territoire, et assurer ainsi une bonne répartition de la production d'électricité d'origine éolienne. Pour la France métropolitaine :

Durée annuelle de fonctionnement de référence	Tarif des 5 premières années	Tarif des 10 années suivantes
2000 h et moins	8,38	8,38
Entre 2000 et 2600 h	8,38	Interpolation linéaire
2600 h	8,38	5,95
Entre 2600 et 3600 h	8,38	Interpolation linéaire
3600 h et plus	8,38	3,05

Ces tarifs sont également dégressifs d'un coefficient de 0,967 par an à partir de 2003. Ils sont de plus ajusté en fonction de l'indice du coût horaire du travail dans les industries mécaniques et électriques et sur l'indice des produits et services divers à l'année de demande de raccordement.

Pour l'investissement initial de 1 million d'euros nécessaire à l'implantation d'une grande éolienne de 1 MW raccordée au réseau, la rentabilité annuelle moyenne calculée (pour un fonctionnement équivalent à 2500 heures par an) avoisine les 8%¹⁸. En Italie, le kWh est racheté 8,42 centimes d'euros ; aux Pays-Bas, le tarif d'achat éolien correspond au prix de marché plus une prime additionnelle de 4,9 centimes d'euros pour le kWh onshore et 6,8 centimes d'euros le kWh offshore.

¹⁸ Source : Observer

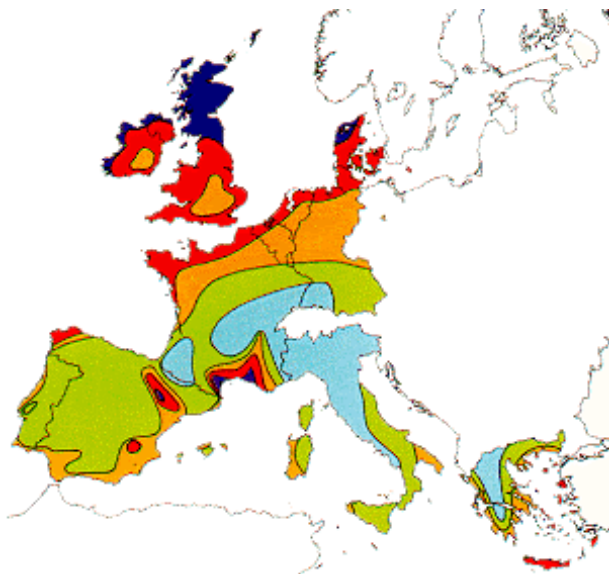
2.4.2) Etat des lieux

☆ Données climatologiques

La carte ci-dessous présente les vitesses de vents en Europe à 50 m d'altitude selon les conditions topographiques locales.

Les conditions météorologiques de vent en Bourgogne ne présentent naturellement pas les avantages évidents des zones côtières atlantiques ou du bassin méditerranéen. Cependant, grâce à l'évolution des technologies, et aux tarifs d'achat de l'électricité produite, les éoliennes deviennent rentables à partir de vitesses de vent annuelle moyennes de l'ordre de 6 m/sec. Dans ces conditions, lorsqu'on augmente la hauteur des éoliennes pour aller chercher des vitesses de vent plus favorables, rares sont les régions à potentiel éolien nul ou réduit.

Vitesses de vent en Europe
Source : European Wind Atlas



Vitesse de vent en m/sec			
	Surface grenue (bois, bocage dense, zones urbaines...)	Surface plate (relief plat ou légèrement ondulé, cultures basses...)	Zones côtières
	> 6	> 7,5	> 8,5
	5,0 - 6,0	6,5 - 7,5	7,0 - 8,5
	4,5 - 5,0	5,5 - 6,5	6,0 - 7,0
	3,5 - 4,5	4,5 - 5,5	5,0 - 6,0
	< 3,5	< 4,5	< 5,0

☆ Les installations actuelles

En 2003 aucune éolienne (hors quelques toutes petites installations privées) n'est installée sur le territoire de la Bourgogne.

Dans l'ambiance actuelle d'ouverture à la concurrence du marché de l'électricité, et devant la rentabilité accrue de l'électricité éolienne, il est logiquement très difficile d'obtenir des données concernant les projets éoliens en cours. Actuellement 23 demandes de raccordement sont déposées auprès du RTE pour une puissance installée totale de 220 MW. 10 d'entre elles ont une puissance inférieure à 12 MW et représentent une puissance cumulée de 142 MW.

La grande majorité de ces projets à l'étude sont situés en Côte d'Or et notamment les projets de puissance les plus élevées.

☆ Les voisins en France... et ailleurs

La Bourgogne n'est pas la seule région française sans installation éolienne. Seules 10 régions (sur les 22 de France métropolitaine) sont équipées d'éoliennes : avec 97 MW installés, et 100 MW supplémentaires prévus pour 2004, le Languedoc Roussillon est la région la plus productrice d'électricité éolienne, loin devant la région Midi-Pyrénées et la Corse (respectivement 24 MW et 12 MW installés). Avec des installations prévues pour 2004, les régions maritimes de Bretagne et du Nord-Pas-de-Calais atteindront respectivement 77 et 64 MW installés. Cependant, sur 8 des 10 régions ne possédant pas d'éolienne à l'heure actuelle, des permis de construire ont été délivrés pour une puissance installée cumulée de 110 MW prévue sur 2004.

La France est le dixième producteur mondial d'électricité avec 231 MW installés, alors que son potentiel (estimé à 60 000 MW, sur terre et en mer), est le second d'Europe après celui du Royaume-Uni. Il est prévu d'installer environ 700 MW supplémentaires fin 2003 début 2004.

Sur la puissance éolienne mondiale installée de 30 400 MW, le continent européen en regroupe 74%, loin devant l'Amérique du Nord (16%) et l'Asie (8%). Avec une puissance totale installée de 12 000 MW, l'Allemagne est le plus grand parc éolien du monde et concentre plus de la moitié de la puissance éolienne de l'Union Européenne (22 331 MW), devant l'Espagne (4 144 MW) et le Danemark (2 889 MW).

2.4.3) Estimation des possibilités de mise en place d'éoliennes : méthodologie

L'ensemble des dispositifs réglementaires français et européens relatifs aux énergies renouvelables¹⁹ conduisent aujourd'hui à un développement de l'énergie éolienne important avec une multiplication des projets sur l'ensemble du territoire français. Cette brusque accélération suscite des interrogations sur l'intégration territoriale des éoliennes. La création d'un projet éolien est l'aboutissement d'une démarche permettant de sélectionner un site favorable, tant du point de vue réglementaire, technique et économique, qu'environnemental.

Cette étude n'a pas pour vocation de définir des zones contraignantes et/ou des zones favorables à l'implantation, mais uniquement de fournir un état des lieux des données techniques, réglementaires et environnementales actuellement disponibles.

Les données nécessaires à la réalisation de cette étude de potentiel éolien ont été obtenues auprès de la DIREN (zones à enjeu environnemental et sites classés et inscrits qui sont disponibles sur le site Internet), dans la base de données cartographique BD Carto achetée à l'IGN (servitude techniques), auprès de la Délégation Régionale et des centres EDF (postes de raccordement) et achetées à Météo France (vitesses de vent moyennes selon le modèle Aladin).

☆ Les zones à enjeux environnementaux

Les prescriptions en matière de protection de l'environnement imposent une étude d'impacts et une enquête publique pour les projets de parcs éoliens dont le seuil de puissance installée est supérieur à 2,5 MW.

Toutes les zones naturelles sensibles ne présentent pas le même degré de protection : certaines ne sont pas incompatibles à l'implantation d'éolienne sous réserve d'une analyse environnementale précise alors que d'autres s'y opposent totalement.

Les ZNIEFF de type 1 (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique) sont de vastes ensembles naturels et paysagers cohérents, au patrimoine naturel globalement plus riche que les territoires environnants. Ce mode de protection est généralement peu recommandée pour l'installation d'équipements tels que des éoliennes.

¹⁹ En application de la directive européenne adoptée en septembre 2001, la France doit augmenter sa consommation électrique à partir d'énergies renouvelables de 15 à 21 % d'ici 2010.

L'article 10 de la loi du 10 février 2000 française relative « à la modernisation du service public de l'électricité » prévoit l'obligation d'achat, par le distributeur d'électricité, des kWh d'origine renouvelable et ceci pour des projets jusqu'à 12 MW de puissance installée. L'arrêté tarifaire de juin 2001 fixe le prix auquel l'électricité d'origine éolienne sera achetée par les distributeurs dans le cadre de l'obligation d'achat.

La loi du 2 juillet 2003 fixe les procédures administratives et réglementaires à mettre en œuvre pour la conception d'un projet éolien. La circulaire aux préfets du 10 septembre 2003, relative à la promotion de l'énergie éolienne terrestre, invite les préfets à « faciliter la concrétisation rapide de projets éoliens en veillant, à travers l'évaluation préalable, la concertation et la large participation du public, à garantir l'ensemble des intérêts concernés » et détaille également les instructions juridiques et techniques applicables en la matière.

Les ZNIEFF de type 2 sont souvent de plus petite taille situées ou non à l'intérieur des précédentes et qui se détachent par une concentration d'enjeux forts du patrimoine naturels. Ce mode de protection n'est pas complètement incompatible avec l'installation d'éolienne mais nécessite une analyse précise et objective de la sensibilité du milieu naturel en lien avec ces installations.

Les ZICO (Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux) ont été répertoriées entre 1979 et 1991 par la Ligue de Protection des Oiseaux pour le Ministère de l'Environnement. Cet inventaire recense les zones les plus importantes pour la conservation des oiseaux et les sites d'accueil d'oiseaux migrateurs. Les territoires ZICO où l'implantation d'éolienne est pressentie doivent bénéficier d'une forte concertation avec les associations et administrations chargées de la protection des milieux naturels et, dans le cas d'une éventualité, faire l'objet d'une étude préalable lors de la pré-faisabilité du projet. D'une façon générale il est souvent souhaitable d'éviter la mise en œuvre d'éolienne dans un environnement avifaunistique classé sensible.

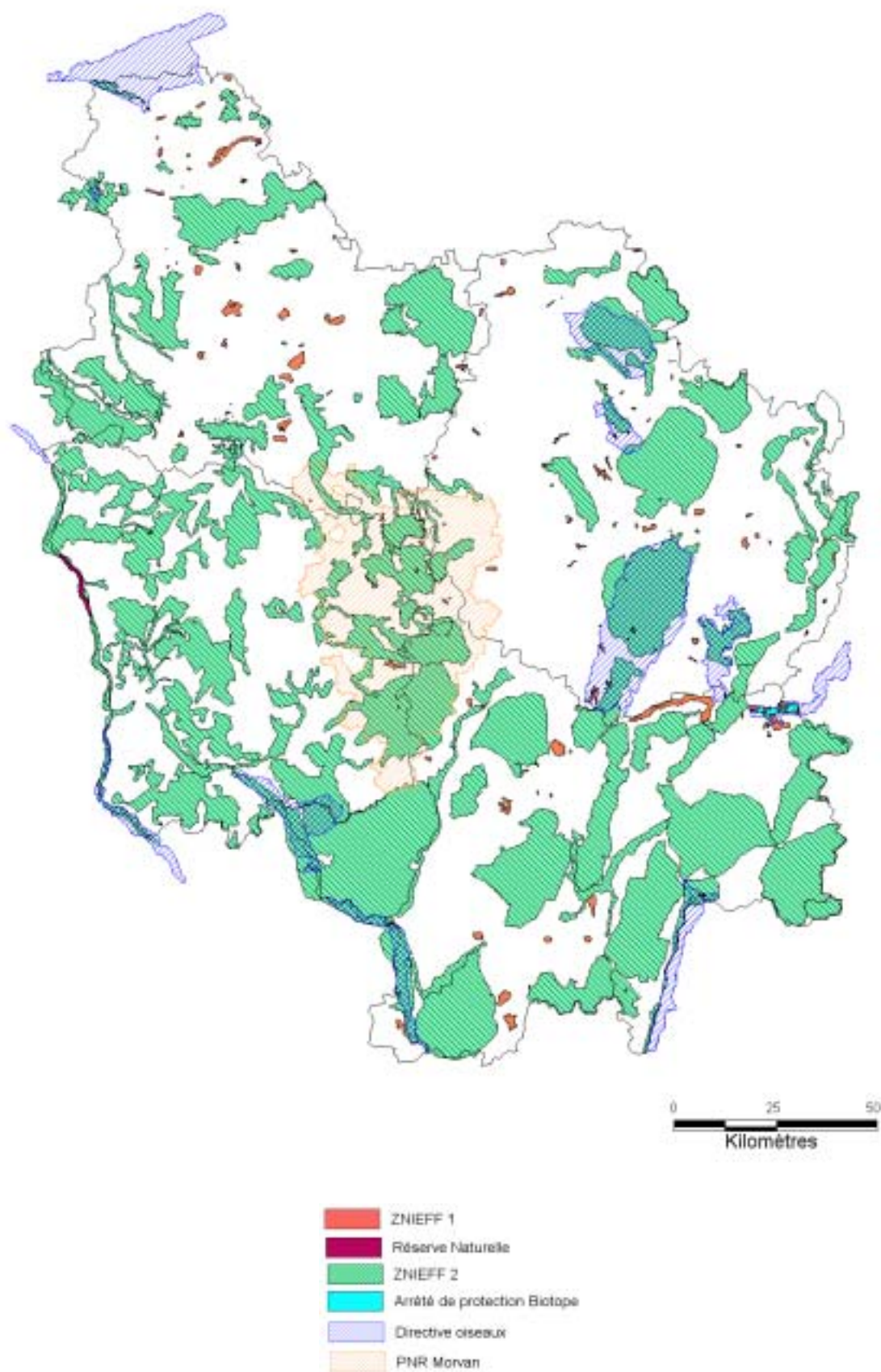
Les Zones proposées NATURA 2000 présentent une biodiversité qui doit être préservée, maintenue ou rétablie. Il en existe deux types : les ZPS (Zones de Protection Spéciales) reconnues pour leur potentiel de l'avifaune et les ZSC (zones Spéciales de Conservation) qui présentent des combinaisons floristiques particulières. Récemment mises en place, il convient de se rapprocher des associations et administrations chargées de protection des milieux naturels pour évaluer la compatibilité préservation de l'environnement/exploitation de l'énergie éolienne.

Les APB (Arrêtés de Protection Biotope) sont créés à l'initiative de l'Etat et fixent les mesures (activités interdites, limitées ou soumises à autorisation) qui doivent permettre la conservation des biotopes. Selon sa définition, chaque biotope peut être peu, moyennement ou totalement incompatible avec l'implantation d'éolienne.

Les PNR (Parcs Naturels Régionaux) n'apportent pas de restriction préalable à l'exploitation de l'énergie éolienne. Suivant les chartes et les directives établies par l'équipe de gestion du parc, l'énergie éolienne peut parfaitement s'inscrire dans une perspective de développement durable sur la circonscription du parc.

Les Réserves Naturelles sont créées à l'initiative du ministère chargé de la protection de l'environnement. Ce sont des zones au patrimoine naturel riche et reconnu. Les Réserves Naturelles sont écartées de toute implantation éolienne.

Zones à enjeux environnementaux
Source : DIREN



★ *Les zones de prescription en matière d'urbanisme*

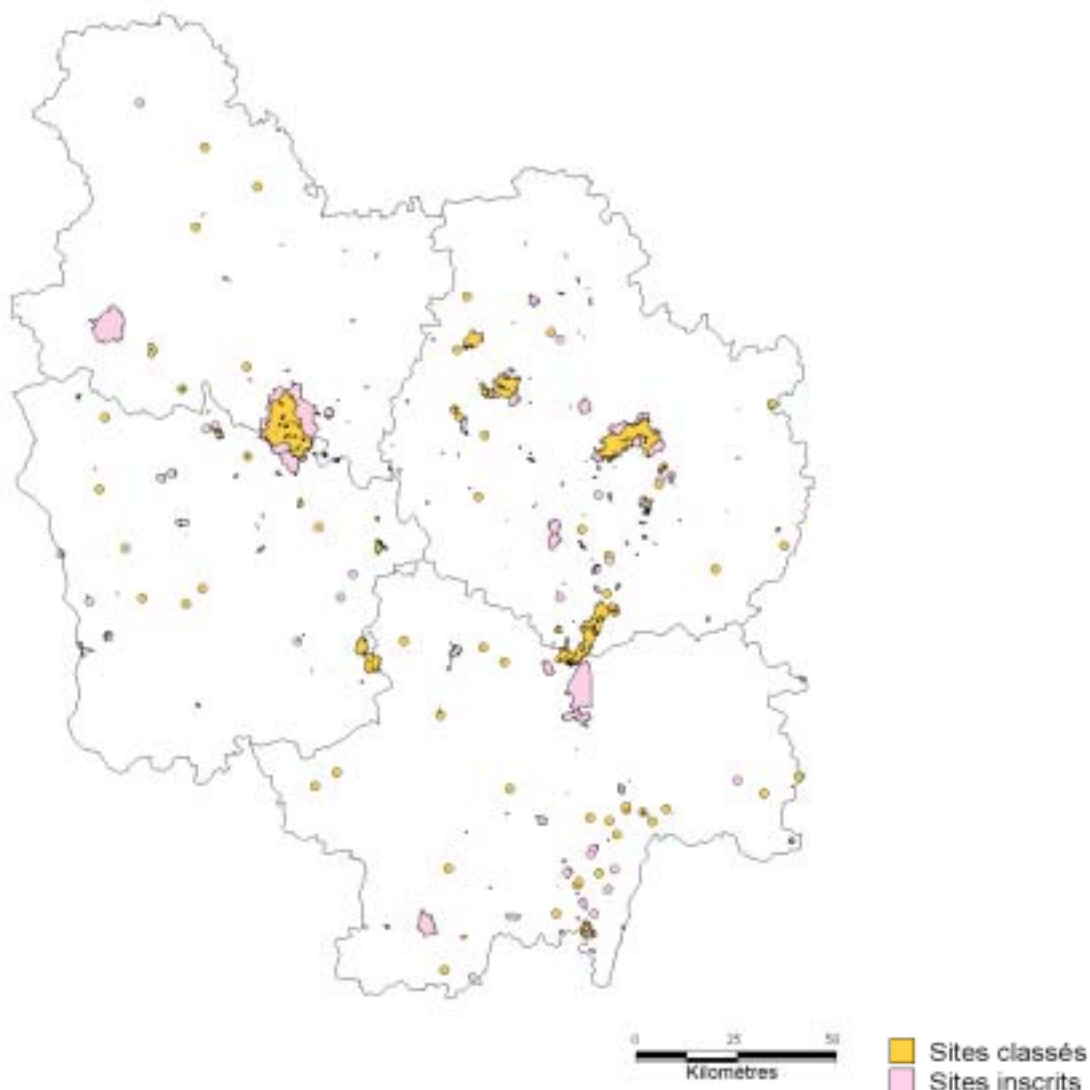
Les éoliennes d'une hauteur supérieure ou égale à 12 mètres font partie des ouvrages qui requièrent un permis de construire conformément au code de l'urbanisme. S'agissant d'un moyen de production d'électricité, le permis est délivré au nom de l'Etat par le préfet de département, dès lors que l'installation n'est pas destinée à l'autoconsommation. Tout projet éolien doit également être compatible avec les documents d'urbanisme établis sur le territoire de la commune concernée. Les dispositions du code de l'urbanisme prévoient par ailleurs que le permis de construire peut être refusé ou comporter des prescriptions lorsque les aménagements sont de nature à affecter le paysage.

Les sites classés sont des monuments naturels ou bâtis protégés pour préserver leur caractère artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque et ses décrets d'application. Ces sites sont totalement incompatibles avec l'implantation d'éolienne puisque tous travaux susceptibles de modifier ou détruire l'état ou l'aspect des lieux sont interdits, sauf autorisation ministre (ou du préfet, dans certains cas). La décision de classement fait l'objet d'un décret en Conseil d'Etat.

Les sites inscrits ne présentent pas une valeur ou une fragilité telle qu'une mesure de classement s'impose, mais présente suffisamment d'intérêt pour que son évolution soit suivie de près. Ces sites ne sont pas totalement incompatibles avec l'installation d'éoliennes mais tous travaux susceptibles de modifier ou détruire l'état ou l'aspect des lieux sont soumis à une déclaration préalable d'intention auprès de l'architecte des bâtiments de France pour avis.

L'inscription fait l'objet d'un arrêté du ministre chargé de l'environnement.

Zones à prescription en matières d'urbanisme
Source : DIREN



☆ Les réseaux et les servitudes techniques

Les postes source représentent une information importante : la proximité d'un point de raccordement pour injecter les courants produits sur le réseau est un élément déterminant pour la conception d'un projet éolien. Chaque demande de raccordement est étudiée au cas par cas par les gestionnaires de réseau (ARD pour les projets d'une puissance inférieure à 12 MW, et RTE pour les autres projets). Son acceptation dépend notamment de la consommation minimum sur le poste source et de la capacité d'accueil sur le réseau Haute Tension en amont. Il est à noter que la règle d'acceptation d'un ouvrage de production décentralisée sur le réseau est aujourd'hui celle du N-1. Il est donc considéré que la puissance maximale de l'unité de production décentralisée doit pouvoir être évacuée par le réseau, même lorsqu'un ouvrage du réseau haute tension est défaillant, et ce sur la base d'une consommation minimale au poste. Dans le cas de l'éolien, ces hypothèses définissent un critère très prudent d'acceptation (hypothèses de consommation minimale sur le poste source avec production maximale du parc éolien).

Les couloirs aériens militaires sont des zones où peuvent se dérouler des exercices aériens à basse altitude que des éoliennes seraient susceptibles de gêner. Leur compatibilité avec l'implantation d'éolienne est étudiée au cas par cas. Pour les zones TBA (très basse altitude) d'un seuil de 800 pieds, il peut être possible de construire des éoliennes dont la hauteur totale (en bout de pale) ne dépasse pas 90 mètres.

Les aéroports et aérodromes publics sont protégés par de nombreuses servitudes géographiques incompatibles avec des constructions en altitude. Des altitudes maximales à ne pas dépasser sont fixées. Elles varient avec la distance à la piste et la direction. La contrainte est logiquement nettement plus forte dans l'axe des pistes. Elle est également très dépendante du type de pilotage possible au niveau de l'aéroport (vol à vue / approche aux instruments / atterrissage aux instruments). La limite et la nature de la servitude sont donc différentes pour chaque aéroport. La contrainte est exprimée en altitude ; la hauteur de construction possible dépend donc du relief autour de l'aéroport. Pour les terrains d'aviation privés, il n'existe pas de servitudes officielles. Une concertation locale est donc à prévoir au cas par cas.

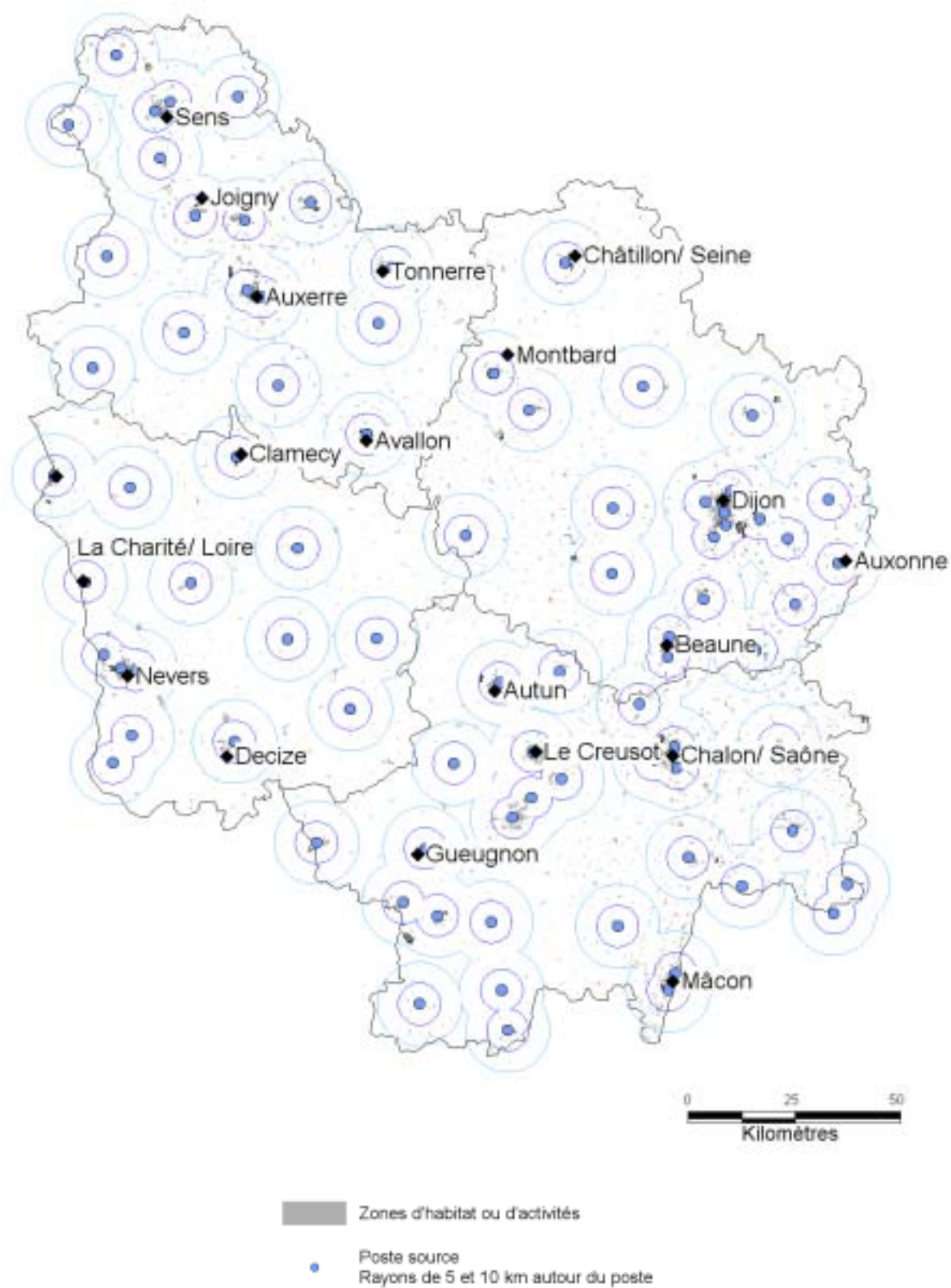
Les balises de guidage pour la navigation aérienne sont protégées par une distance minimum à respecter pour toute construction, et une hauteur maximum (en pourcentage de la distance), au delà de la distance minimum. Elles sont situées à proximité des aéroports pour aider les avions lors des manœuvres d'approche, et le long des grands couloirs aériens.

Certaines données cartographiques sur les contraintes liées à l'aviation sont disponibles auprès du Service de l'Information Aéronautique basé à Bordeaux Mérignac. Les informations plus précises sur les contraintes par aéroport et sur les balises sont disponibles auprès de l'Aviation Civile ; district Aéronautique Nord Est ; basé à Strasbourg Entzheim.

Les faisceaux hertziens de transmission sont des axes de passage du signal télévisuel entre deux émetteurs TDF (Télédiffusion De France). Cette servitude correspond généralement à une bande large de 500 mètres dans laquelle il est interdit de créer des obstacles fixes ou mobiles. Les données sont disponibles auprès de la Direction Opérationnelle de TDF basée à Nuit Saint Georges.

Les contraintes liées à l'aviation et aux faisceaux hertziens n'ont pas été intégrées dans les cartes. La concertation nécessaire avec ces services pour mieux appréhender les contours des zones de servitudes et les cartographier avec précision peut en effet difficilement être développée suffisamment dans le cadre d'une telle étude de potentiel générale.

Localisation des Postes source et Zones de bâti
Source : DIREN, Syndicat d'électrification



☆ La ressource moyenne sur la région

La principale information nécessaire à une réflexion sur le potentiel éolien de la région reste les vitesses moyennes de vent sur l'ensemble du territoire. On estime généralement qu'un site peut être rentable économiquement et énergétiquement à partir d'une vitesse moyenne annuelle de vent de 5,5 à 6m/s à 80 m d'altitude. Le raisonnement en vitesse moyenne annuelle ne permet toutefois qu'une première approche. La production de l'éolienne dépend en effet fortement de la distribution des vitesses de vent par classes (diagramme de Weibull).

Les cartes présentées modélisent les données ponctuelles linéaires (courbes d'iso-vitesse) issues du modèle ALADIN utilisé par Météo France. Elles permettent de visualiser le gisement éolien moyen en Bourgogne à 50 et 100 mètres d'altitude.

Vitesses moyennes de vent à 50 m d'altitude

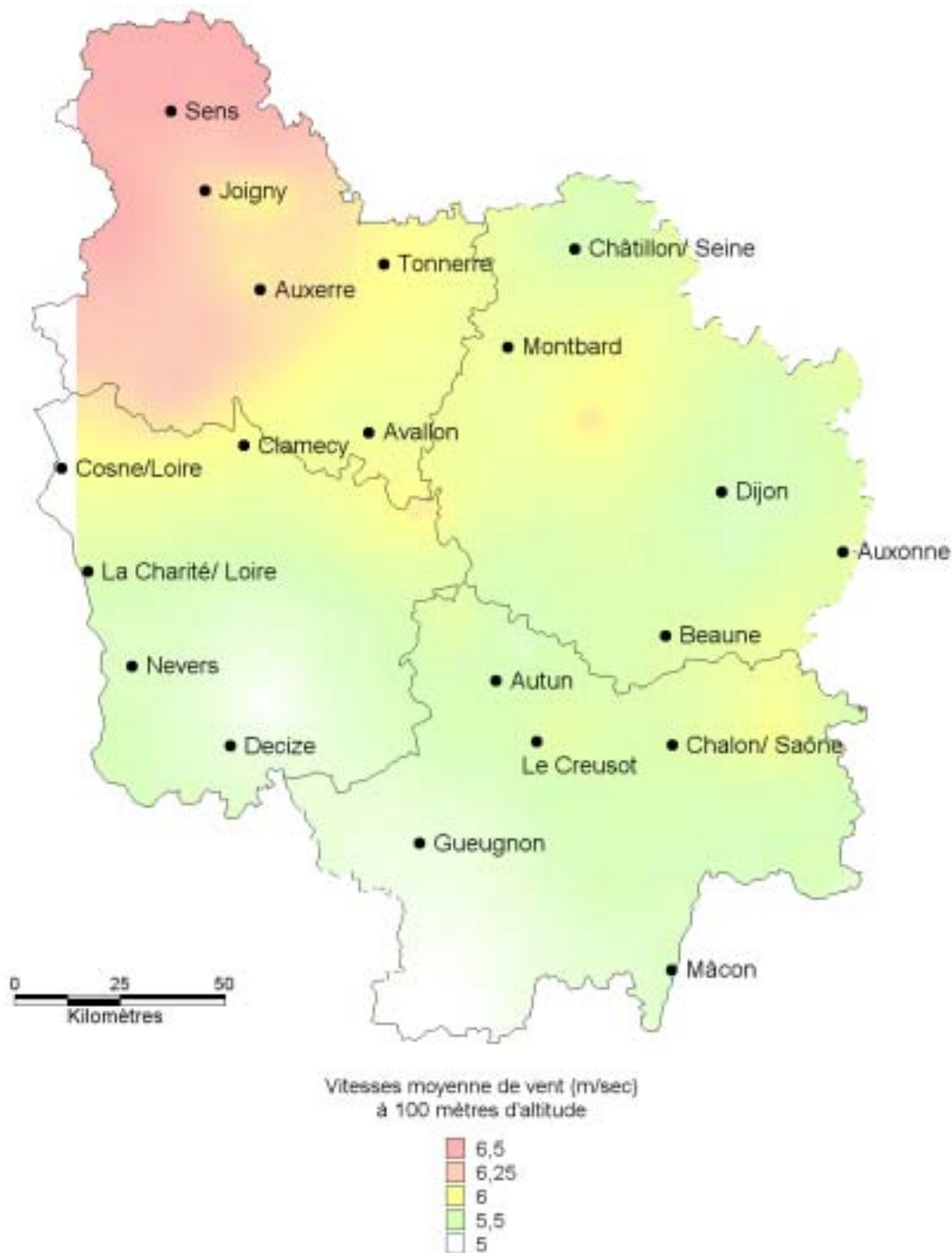
Source des données : Météo France



Les projets vont s'orienter plutôt vers des machines dont les hauteurs de rotor atteindront rapidement 80 voire 100 mètres. Par conséquent ; il est plus logique de se concentrer sur la carte des vitesses moyennes de vent à 100 mètres d'altitude par rapport au sol. De plus, le vent moyen à 100 mètres est logiquement

moins soumis à des variations locales liées à la nature des terrains que le vent à 50 mètres. Le modèle Aladin, basé sur une modélisation avec une maille relativement large (12 km), donne donc une représentation plus fiable des variations de potentiels sur le territoire pour une hauteur de 100 mètres. Il est important cependant de rappeler que ce modèle ne permet pas une analyse fine des conditions de vents : des variations ponctuelles locales peuvent être gommées du fait de la maille de 12 km.

Vitesses de vent moyennes à 100 mètres d'altitude
Source des données : Météo France



2.4.4) Estimation d'un potentiel de production

En estimant que dans les conditions tarifaires actuelles, la rentabilité est atteinte pour des sites présentant une vitesse moyenne de vent supérieure ou égale à 6m/s (à 100 m), on peut déterminer des zones hors des contraintes et intégrées dans un rayon de 5 km d'un poste source. Cette méthode ne définit qu'un potentiel théorique puisqu'elle ne prend pas en compte tous les facteurs déterminants pour l'installation d'un parc éolien.

A partir des contraintes tracées, une surface totale disponible de 700 km² environ présentant un vent moyen à 100 mètres supérieur ou égal à 6m/s peut être définie autour d'une dizaine de postes sources.

Les points suivants restent toutefois à déterminer afin d'estimer un potentiel réel pour la région :

- La capacité du réseau à absorber la production d'électricité (la diffusion d'informations sur la capacité d'accueil au niveau des postes sources n'est pas envisageable par les organismes concernés dans le contexte actuel).
- La puissance des parcs : la puissance des parcs est aujourd'hui limitée à 12 MW, mais l'association de plusieurs porteurs de projets dans une même zone peut augmenter cette valeur, et permettre ainsi de rendre économiquement valable une distance supérieure à 5 km d'un poste source (voire dans certains cas la création d'un poste source). La surface potentielle à considérer est alors plus élevée.
- Les possibilités techniques d'implantation, a minima au regard de la topographie des zones identifiées qui peut restreindre les possibilités (les contraintes liées à la navigation aérienne et aux faisceaux hertziens n'ont également pas été prises en compte).
- L'accord des propriétaires pour l'implantation des machines sur leurs terrains

Compte tenu de ces incertitudes, le comité de pilotage de cette étude n'a pas souhaité qu'un chiffre, dont le résultat est trop dépendant des hypothèses prises, soit avancé pour le potentiel éolien sur la région. Une étude plus approfondie dédiée à l'éolien permettra d'estimer ce potentiel. Les éléments rassemblés dans le cadre de la présente étude nous indiquent néanmoins que l'ordre de grandeur est à minima de plusieurs centaines de MW.

De plus, pour davantage de précision, il est nécessaire d'affiner les données de vent du modèle Aladin (maille de 12 km) avec des informations calculées à un niveau de détail plus fin. Le modèle MesoNh de Météo France, par exemple, offre la possibilité d'avoir une maille de valeurs de vent moyen et de rose des vents tous les kilomètres. Son coût, de l'ordre de 30 € par km², implique toutefois qu'une pré sélection des zones à étudier soit effectuée.

2.4.5) Actions à mener pour développer la filière

☆ Approche incitative

Afin d'affiner le potentiel défini ci-avant, une visite de terrain autour de chaque poste source concerné permettra de définir des sites homogènes et de les classer par ordre d'intérêt (en fonction de la proximité des zones bâties ; relief et rugosité du terrain ; intégration dans le paysage...). Une concertation avec les communes et propriétaires concernés permettra ensuite de définir quelles sont les zones où des projets peuvent aboutir rapidement.

Cette démarche serait encore plus efficace avec une information disponible sur les capacités d'accueil des postes sources, ce paramètre permettant de bien cerner quels sont les enjeux en terme de taille possible de projets autour de chaque poste.

Une liste des zones favorables pourrait ainsi être bâtie. Suivant les souhaits et objectifs des organismes publics et acteurs locaux concernés, cette liste pourrait ensuite être diffusée largement aux porteurs de projets potentiels, quels qu'ils soient, en vue de susciter des investissements en éolien sur la région.

Le potentiel réel de production sur chaque site devra bien sûr être validé par une campagne de mesures qui pourra être réalisée en amont ou laissée à la charge du porteur de projet.

☆ *Assistance au montage de projet*

La cartographie établie dans le cadre de cette étude permet de cerner quelles sont les zones présentant a priori des enjeux forts en matière d'éolien sur la région. Elle ne permet toutefois pas d'indiquer à un porteur de projet potentiel quelles sont les zones où l'implantation d'une ou plusieurs éolienne(s) sera autorisée ou non.

L'ajout des servitudes manquantes sur les cartes et une bonne concertation avec les organismes en charge de leur application permettrait d'affiner la définition de zones « favorables ». Une communication sur ces zones permettrait alors de faciliter grandement la gestion des demandes en définissant 3 cas :

- zones où l'implantation est soumise à certaines autorisations ; avec description détaillée de la marche à suivre pour les porteurs de projets
- zones où l'implantation fait l'objet de demandes particulières complémentaires avec indication des organismes à contacter en plus et marche à suivre. Contraintes éventuelles particulières en terme de hauteur par exemple.
- zones où il n'est pas possible d'installer des éoliennes²⁰.

Une bonne concertation entre les différents organismes instructeurs et des représentants de la filière (le Syndicat des Energies Renouvelables par exemple) permettrait de bâtir des modèles de demandes types pour s'assurer de demandes complètes de la part des porteurs de projets et plus faciles à traiter pour les organismes instructeurs, dans l'esprit de la circulaire aux préfets du 10 septembre 2003²¹.

☆ *Approche d'initiative locale*

Une diffusion des cartes établies dans le cadre de cette étude auprès des communes permettrait de susciter l'apparition de projets de proximités faisant appel le plus possible à des investissements locaux pour une meilleure appropriation des projets par la population. Les projets ne seront alors pas forcément de taille importante, ce qui peut permettre dans certains cas d'injecter directement la puissance produite sur le réseau HTA (20 000 Volts). La contrainte de proximité d'un poste source étant levée, des zones plus favorables en terme de gisement éolien peuvent alors être exploitées²².

Il est important de rappeler ici qu'une bonne information et concertation avec la population le plus en amont possible est primordiale pour le bon déroulement et la bonne acceptation d'un projet éolien. En effet, bon nombre d'a priori perdurent sur le sujet et il peut parfois s'avérer difficile d'en venir à bout.

²⁰ Une diffusion large de ces éléments évitera que des projets soient montés dans des zones où ils ne seront pas autorisés, et que les demandes augmentent inutilement les volumes de travail des organismes qui instruisent ces dossiers.

²¹ Des délais limites de réponses devront par exemple également être définis.

²² Une des difficultés de montage de tels projets réside dans le fait que l'ARD ne peut communiquer sur les capacités du réseau. Il n'est pas possible de savoir, a priori, quelle est la puissance qui peut être installée, puisque toute demande de raccordement doit comporter la puissance installée prévisionnelle. En cas de refus pour cause de capacité trop faible sur le réseau, une nouvelle demande doit être déposée, sans garantie qu'elle pourra être acceptée.

2.5 ENERGIE HYDRAULIQUE

2.5.1) Définition

☆ Description de la technologie et de ses applications

L'hydraulique est une des premières énergies domestiquées par l'homme (moulins au fil de l'eau, bateaux à aubes,...). L'hydroélectricité, c'est-à-dire la production d'électricité à partir de la force de l'eau, est apparue au milieu du XIXe siècle. Appelée la "houille blanche", elle a été synonyme d'un développement économique très important.

Les microcentrales hydroélectriques fonctionnent exactement comme les grandes centrales des barrages qui exploitent l'énergie des fleuves. Le seuil de 10 MW différencie la grande hydraulique de la petite hydraulique. Une microcentrale hydroélectrique est définie comme une unité de production électrique variant en fonction du débit du cours d'eau et de la hauteur de chute, d'une puissance électrique maximale de 10 MW. Une telle unité de production est accessible à tout exploitant, sous régime d'autorisation, dans la mesure où l'installation est de puissance inférieure à 8 MW. Pour les puissances supérieures à 8 MW, l'installation est obligatoirement en concession.

Il s'agit dans la plupart des cas, de centrales au fil de l'eau, sans réservoir régulateur, c'est-à-dire tributaire dans une certaine mesure du régime du cours d'eau. Leur installation nécessite une bonne connaissance de la hauteur de chute et des débits des rivières pour le dimensionnement des turbines et la maîtrise de la production. Si la hauteur de chute est généralement facile à mesurer ; la connaissance de la variation du débit au cours de l'année est plus délicate à appréhender. Cette connaissance est primordiale, d'une part pour estimer la production annuelle, et d'autre part pour définir le débit réservé à respecter (égal au dixième du module - débit moyen annuel -).

Il existe sur le marché des micro centrales hydrauliques dont la puissance commence à quelques kW.

En plus des fleuves ou rivières, il est possible d'exploiter l'énergie de l'eau circulant dans les différents réseaux (eau potable ; irrigation ; eaux usées).

L'hydroélectricité produite peut être injectée sur le réseau ou alimenter en électricité un site isolé.

☆ Calcul de la puissance en première approche

La puissance hydraulique contenue dans un fluide en mouvement dépend exclusivement du débit et de la pression de ce fluide²³. Pour les projets de turbinage de l'eau, la relation suivante est utilisée pour déterminer la puissance électrique potentielle en sortie de turbine : $Pe^{24} = 0,0278 \times Q \times P \times \eta_g$. Lorsque l'on raisonne plutôt en dénivelé, la pression ici en bar peut être convertie en hauteur en mètres (1 bar = 10 mètres de colonne d'eau).

☆ Eléments réglementaires

L'installation d'une microcentrale est soumise à une autorisation préfectorale spécifique qui inclut le droit d'eau et permet à un exploitant d'utiliser le potentiel d'un cours d'eau. La loi du 16 octobre 1919 stipule en effet que « nul ne peut disposer de l'énergie des marées, lacs et cours d'eau quel que soit leur classement sans une concession ou une autorisation de l'Etat ». Depuis 1995, un décret impose, dans le cadre des demandes d'autorisation, la réalisation d'une notice d'impact pour toute installation inférieure à 500 kW et d'une étude d'impact pour les puissances supérieures à 500 kW.

Si le propriétaire possède déjà le droit d'eau (qui est tacitement cédé lors de la vente d'une propriété, mais dont l'existence n'est pas toujours connue), l'obtention du renouvellement de l'autorisation préfectorale consiste alors à effectuer une nouvelle demande d'autorisation qui est généralement moins difficile à obtenir qu'une première demande d'autorisation préfectorale.

²³ Elle est donnée par la relation $P_h = Q \times P$; P_h indiquant la puissance hydraulique en Watt ; Q le débit en m^3/s et P la pression en Pascal (unités SI).

²⁴ Pe indiquant la puissance électrique en **kW** ; Q le débit en m^3/h et P la pression en **bars**. η_g est le rendement global de la machine, estimé généralement à 0,5 en première approche.

★ *Eléments économiques*

Pour un site raccordé au réseau, l'exploitant choisi la formule de rachat la mieux adaptée à son profil de production :

	Tarif à une composante	Tarif à deux composantes		Tarif à quatre composantes				Tarif à cinq composantes				
		Hiver	Eté	Hiver		Eté		Hiver			Eté	
				H Pleines	H creuses	H Pleines	H creuses	H de pointe	H pleines	H creuses	H Pleines	H creuses
Puissance installée < ou égale à 500kW	6,1	8,42	4,45	10,25	5,98	4,58	4,27	17,81	8,97	5,98	4,58	4,27
Puissance installée > ou égale à 600kW	5,49	7,58	4,01	9,22	5,38	4,12	3,84	16,03	8,07	5,38	4,12	3,84
Au delà de 20 ans	4,42	6,1	3,23	7,43	4,33	3,32	3,09	12,91	6,5	4,33	3,32	3,09

en centimes d'Euros par kWh

Les tarifs sont garantis pendant 20 ans à compter de la signature du contrat ; ils sont ensuite minorés. Pour les puissances comprises entre 500 et 600 kW, une règle de trois est appliquée pour déterminer le tarif. Les obligations de rachat de l'électricité produite ne concernent pas les installations d'une puissance installée supérieure à 12 MW.

Le coût d'installation d'une microcentrale est de l'ordre de 2000 à 2500 Euros par kW pour des puissances supérieures à 100 kW. Il varie entre 5 000 et 10 000 euros pour les puissances inférieures, notamment en fonction de la nature du site et des travaux nécessaires à son aménagement.

2.5.2) Etat des lieux

De même que pour l'énergie éolienne, le climat actuel d'ouverture à la concurrence, et l'intérêt économique et énergétique de l'énergie hydroélectrique ne facilitent pas les échanges d'informations. La plupart des organismes contactés (DDE, Agences de l'eau, DDAF, syndicat des producteurs autonomes, syndicats des barragistes, EDF ARD...) ne transmettent pas facilement leurs données, et préfèrent souvent renvoyer sur d'autres organismes détenteurs potentiels d'informations.

★ *Production des sites raccordés au réseau*

Les grands barrages et les centrales hydroélectriques exploités par EDF produisent chaque année en Bourgogne environ 78 GWh en moyenne. La centrale de Clamecy sur Cure (puissance : 24 500 kW, production : 53 GWh/an) est la seule installation de grande hydraulique en Bourgogne.

Aucune demande de raccordement n'est en cours pour le département de l'Yonne. Pour les trois autres départements, des demandes sont en cours mais leur nombre ou leur nature ne permettent pas à l'ARD de fournir d'information sans dépasser les règles de confidentialité fixées par la loi (pour fournir des informations de volume de production, celui-ci doit être constitué d'au moins trois producteurs et aucun de ces producteurs ne doit représenter à lui seul 80% du volume total).

★ *Installations hydroélectriques existantes*

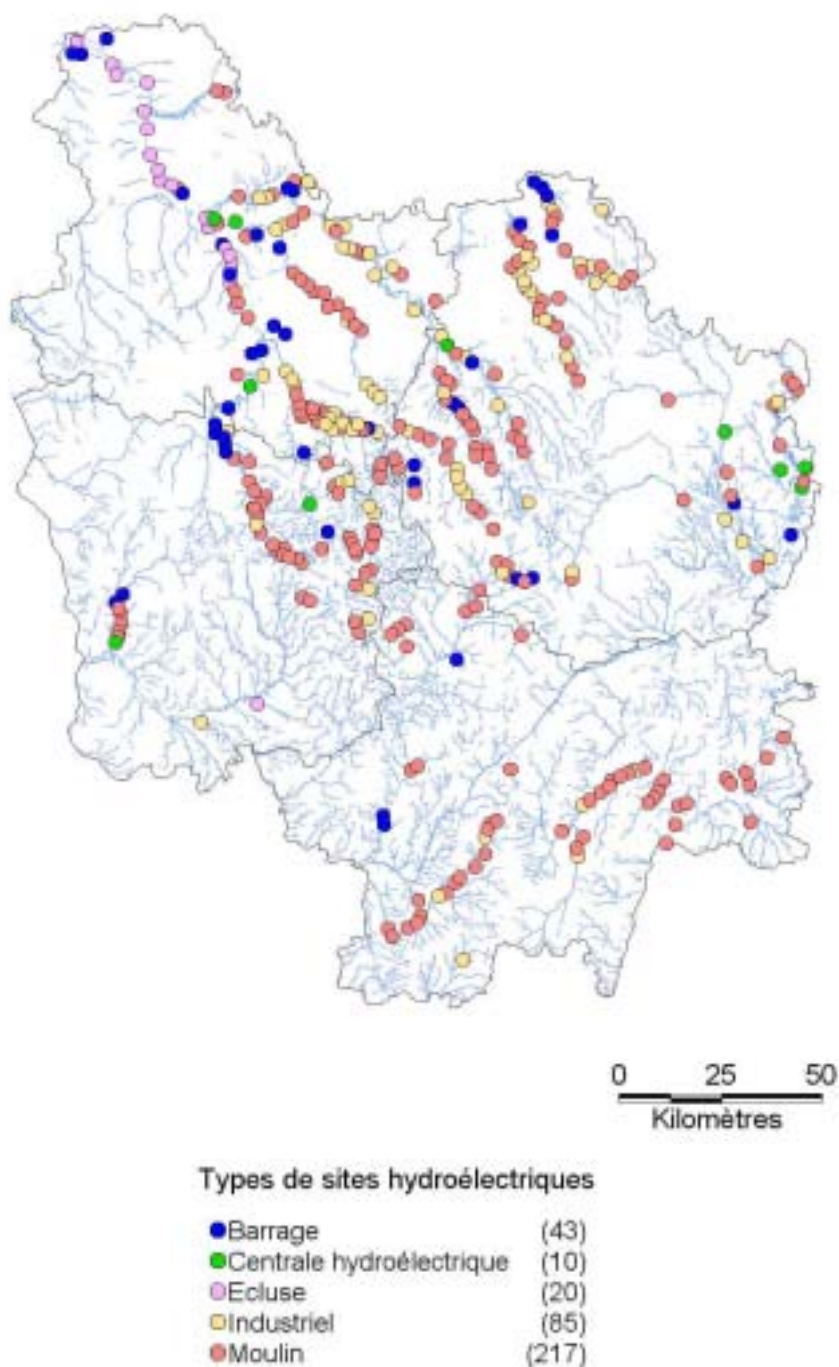
Le recensement des sites hydroélectriques existants (en fonctionnement ou abandonnés) en Bourgogne a été effectué en croisant les informations issues de l'inventaire national de l'ADEME (2000), la liste des microcentrales de l'Oreb (issue d'un recensement du CLER effectué en 1990) et les résultats d'un questionnaire envoyé à 400 communes. Ce questionnaire a été transmis, dans le cadre de cette étude, aux communes apparaissant sur la liste de l'ADEME pour préciser l'état de fonctionnement des sites. Le fort taux de réponse (près de 70%) permet de proposer un ratio caractérisant l'état de fonctionnement des sites recensés et le potentiel de réhabilitation des sites abandonnés. Il est également un bon indicateur de l'intérêt des communes sur ce sujet.

L'ensemble des résultats présentés doit être utilisé avec prudence puisqu'ils sont basés sur des données initiales dont l'exhaustivité et la représentativité ne sont pas assurées.

L'inventaire de l'ADEME est basé sur des documents anciens et l'état de fonctionnement ou l'existence des sites n'ont pas été vérifiés sur le terrain. La liste de l'Oreb semble exhaustive pour les sites raccordés au réseau mais reste incomplète pour les sites isolés.

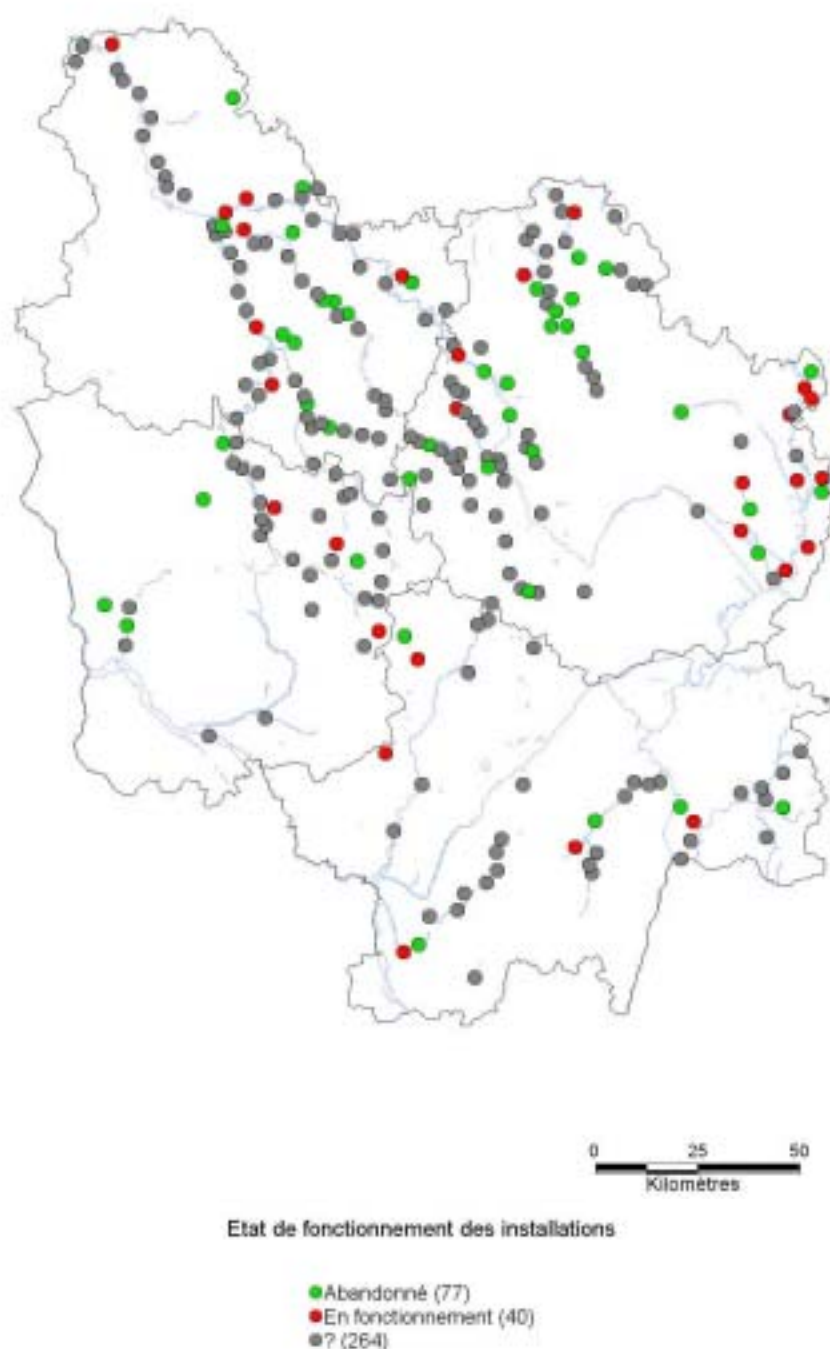
Les données agrégées au département fournies par l'ARD ne permettent pas de localiser les installations ni de préciser leur puissance respective.

Nature des sites hydroélectriques recensés
Source : ADEME, SERT



L'inventaire des sites hydroélectriques en Bourgogne dénombre 375 sites dont 217 moulins. Leur état de fonctionnement est méconnu pour une large majorité (70%) ; 20% d'entre eux sont abandonnés et seuls 10% fonctionnent. On peut cependant supposer que les sites dont l'état de fonctionnement est inconnu sont pour la majeure partie d'entre eux abandonnés.

Etat de fonctionnement des sites hydroélectriques
Sources : ADEME, SERT



La puissance installée n'est que de quelques dizaines de kW pour la majorité des sites (entre 20 et 60 kW pour les moulins). Les installations industrielles ou les barrages peuvent quant à eux atteindre une puissance de plusieurs centaines de kW (de 150 à plus de 400 kW).

☆ *Production actuelle de micro hydroélectricité*

En Bourgogne, l'hydroélectricité (revendue ou non à EDF) produite par les microcentrales de producteurs autonomes est évaluée en moyenne à 1,8 TWh (13 ktep) par an par l'Oreb. Cette production correspond à un quart de la production française (7,25 TWh). La France est en deuxième position derrière l'Italie (8,5 TWh) et devant l'Allemagne (6,3) et l'Espagne (5,6). La production électrique de la petite hydraulique dans l'Union Européenne est de 40 TWh.

2.5.3) Potentiel en énergie hydraulique en Bourgogne

☆ Réhabilitation de sites existants

D'après les résultats de l'enquête, on peut estimer que 75 % des installations ne fonctionnent pas actuellement et que 30% d'entre elles pourraient être réhabilitées (soit environ 85 sites).

En supposant que l'on réhabilite tous ces sites avec une turbine de 40 kW en moyenne, on obtient une puissance installée potentielle de l'ordre de 3 500 kW. Cette estimation reste très peu précise compte tenu des informations sur lesquelles elle est basée.

☆ Installation de turbines sur les réseaux d'alimentation en eau potable (AEP)

La mise en place d'une turbine sur un réseau d'AEP ne présente pas de difficulté particulière. Les quelques contraintes en terme notamment d'étanchéité des machines et de type de matériau utilisé sont bien maîtrisées par les fabricants (acier inox de type alimentaire).

De nombreux sites existent en Suisse, moins en France où le potentiel le plus important se situe plutôt dans les Alpes. La production est toujours revendue sur le réseau de distribution d'électricité. La rentabilité économique d'un projet dépend de la distance au réseau et des contraintes d'installation (nécessité ou non de réaliser du génie civil et nature des travaux notamment). Elle n'est généralement pas atteinte pour des puissances inférieures à 30 kW.

En Bourgogne, le potentiel est modeste, du fait de débits moyens relativement faibles circulant dans les conduites, et de dénivelés peu importants dans la Région. Les débits moyens les plus importants sont de l'ordre de 100 m³/h dans les conduites. Ils peuvent être ponctuellement plus importants dans certaines canalisations de transfert (d'un réservoir à un autre) et en sortie des barrages. Pour un débit de 100 m³/h, la pression nécessaire pour produire 30 kW électrique est de l'ordre de 20 bars, ce qui représente un dénivelé de 200 mètres. Selon la DDAF de Saône et Loire, des dénivelés d'une centaine de mètres entre un réservoir et certaines portions du réseau sont relativement fréquents, notamment dans la région du Morvan où quelques brises charges (ou réducteurs de pression) sont installés. Quelques sites restent donc à examiner au cas par cas, mais il est peu probable que les débits soient suffisants compte tenu de la faible densité de population dans ces zones.

A titre d'exemple, citons le barrage de Chambou qui a été identifié lors des nombreux contacts pris sur le sujet. Il alimente la région d'Autun et de Pinac, ce qui représente une consommation de l'ordre de 6 000 000 de m³. Le dénivelé en sortie de barrage, d'environ 20 mètres, permettrait de produire, sur la base d'un débit constant, une puissance de l'ordre de 20 kW. Cette puissance est modeste, mais compte tenu de la présence du réseau électrique sur site et de la possibilité éventuelle de placer la turbine légèrement en contrebas de la sortie pour augmenter le dénivelé, la faisabilité de la mise en place d'une turbine est à étudier pour ce site. Le profil d'évolution du débit au cours de l'année et de la journée sera déterminant pour la rentabilité de la production.

2.5.4) Actions à mener pour développer la filière

A l'image de la Picardie, de la Franche-Comté ou du Limousin, il apparaît indispensable en premier lieu d'effectuer un inventaire précis des installations existantes et de caractériser leur hauteur d'eau et débit moyen (et/ou leur puissance) et les conditions de réhabilitation éventuelles. Compte tenu de la difficulté d'obtention des informations (et de l'impossibilité de recueillir des données exhaustives sur des moulins notamment dont certains peuvent être à l'abandon depuis fort longtemps), ce travail nécessite une étude à part entière comprenant une importante phase de terrain avec relevés et description de chaque installation. Une telle étude préalable permettrait alors de « planifier » le développement de la petite hydroélectricité en Bourgogne notamment en réhabilitant les nombreux sites abandonnés. Elle permettrait de plus de diffuser une information précise à l'échelle locale. Lors de nos visites sur le terrain dans les communes des zones à enjeux, il est apparu que plusieurs propriétaires sont intéressés pour réhabiliter leur moulin mais ne creusent pas cette démarche par méconnaissance des aspects réglementaires, des conditions de rachat et des possibilités techniques.

La définition plus précise d'un potentiel de sites à réhabiliter permettra alors d'affiner les enjeux en terme de production d'électricité, mais aussi en terme de travaux d'aménagements sur les sites, susceptibles de générer de l'activité pour des entreprises locales.

2.6 BOIS ENERGIE

2.6.1) Définition

☆ Principe de fonctionnement et applications

Loin de l'impact médiatique des éoliennes ou de l'imposante puissance des grands barrages hydrauliques, la filière du bois-énergie repose sur une exploitation ancienne et traditionnelle du potentiel de la forêt. C'est la filière renouvelable la plus diffusée dans le monde. Elle représente 54% des énergies renouvelables exploitées dans l'Union Européenne, devant l'hydraulique (32%). On estime la production énergétique issue de cette filière en Union Européenne à 47,3 Mtep (soit 220 000 MWh environ). La filière bois-énergie est aujourd'hui essentiellement développée autour d'application thermique : 85% de l'énergie issue de la filière sont valorisés sous forme de chaleur.

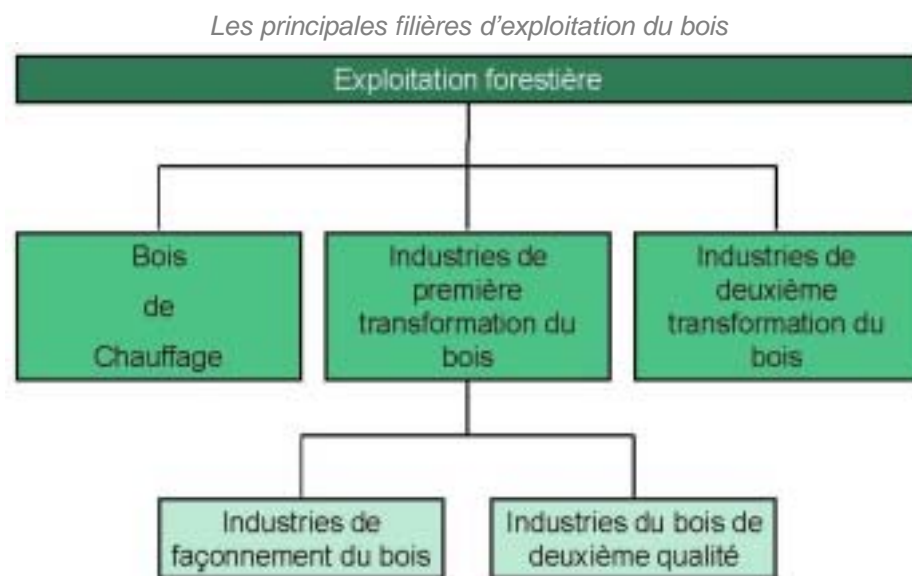
Il existe trois types d'application thermique : les appareils individuels de chauffage au bois (chaudières, inserts, poêles, foyers ouverts), les chaufferies urbaines ou collectives (ces installations alimentent, directement ou par réseau de chaleur, des ensembles immobiliers, des quartiers urbains ou des équipements publics) et les chaufferies industrielles.

La combustion du bois pour la production d'électricité est une technique utilisée depuis longtemps, notamment par l'industrie papetière qui valorise ainsi les résidus ligneux du bois utilisé pour la fabrication de la pâte à papier.

Les nouvelles chaudières au bois automatiques assurent un confort d'utilisation identique à celui des chaudières fioul ou gaz en citerne. Grâce à un silo d'approvisionnement relié à la chaudière par une vis sans fin, l'alimentation en combustible bois du foyer de la chaudière est automatique. En période hivernale, selon le modèle et la puissance de la chaudière, et selon le combustible utilisé, le réapprovisionnement du silo est nécessaire tous les 10 à 20 jours en moyenne. Les chaufferies de grande taille peuvent s'adapter à des taux d'humidité du combustible relativement élevés (jusqu'à 60% pour Autun par exemple), ce qui permet de limiter les contraintes liées au séchage.

☆ Les filières d'exploitation du bois

Après l'exploitation initiale de la forêt, les filières d'utilisation du bois sont nombreuses. Les bois issus directement de l'exploitation forestière se répartissent au premier niveau entre les industries de première transformation du bois (scieries) et les industries de deuxième transformation du bois (industries de la pâte à papier et des panneaux de particules) ; ces dernières n'utilisent que des bois abîmés ou trop petits pour être utilisés dans les scieries. Les bois « nobles » qui sortent des scieries sont utilisés par les industries de façonnement du bois (menuiseries, parquetteries) alors que les bois de deuxième qualité sont utilisés par les industries de fabrication de palettes par exemple. A chaque passage d'un niveau d'exploitation à l'autre, on estime que la perte en déchets de bois équivaut à 50% de la masse initiale. Ces connexes peuvent être valorisés et leur valorisation représente un enjeu de taille pour les industries puisqu'aujourd'hui la loi leur interdit de les brûler. A l'heure actuelle, les scieries valorisent leurs connexes essentiellement en les revendant aux industries de deuxième transformation du bois. Un autre mode de valorisation de leurs connexes (la transformation en plaquettes de scieries et la revente de ces plaquettes pour les chaufferies) leur permettrait limiter leur dépendance envers le marché de la pâte à papier.



☆ *Les combustibles bois*

Il existe de nombreux combustibles bois, dont la provenance est variable : ils sont issus de la forêt, de l'industrie du bois ou de la filière déchets.

Les combustibles provenant de la forêt :

Les bûches :



La bûche est le combustible bois le plus utilisé par les particuliers. La consommation du bois de chauffage en bûches correspond à 20% de l'énergie thermique utilisée dans l'habitat en France.

On distingue 3 types d'approvisionnement en bois bûche :

- approvisionnement en bois provenant des propriétés de l'utilisateur,
- autoconsommation de bois provenant de l'affouage ou de propriété d'autrui,
- achat de bois à des réseaux officiels

Le bois doit être utilisé, de préférence, le plus sec possible (humidité inférieure à 25% sur masse brute) pour un bon fonctionnement de l'appareil de chauffage. Il est donc souhaitable de le faire sécher. Le temps de séchage est variable (entre 6 et 24 mois) selon l'essence et le façonnage des bûches et selon le climat.

Le contenu énergétique des bûches est en moyenne de 1500 kWh et 2000 kWh par stère. (Un kg de bois entièrement sec contient 5 kWh).

Les plaquettes forestières :



L'exploitation forestière, l'élagage, le défrichage produisent un grand nombre de branches et résidus (cimes) qui peuvent être déchiquetés en plaquettes forestières. L'approvisionnement en plaquettes forestières entre dans un processus allant de l'abattage des arbres au déversement des plaquettes dans un silo. Ce processus peut durer plusieurs mois selon que l'on préfère laisser sécher le bois sur le chantier avant de le déchiqueter ou sécher les plaquettes après avoir déchiqueté le bois frais.

On distingue 2 types d'approvisionnement en plaquette forestière : l'approvisionnement direct et l'approvisionnement indirect.

- Approvisionnement en flux tendu (direct) : le bois est transformé en plaquettes en forêt et directement transporté chez l'utilisateur. Cet approvisionnement est bon marché car il ne comporte qu'un minimum de manutentions et ne prévoit pas de stockage intermédiaire.

- Approvisionnement avec rupture de charge (indirect) : les plaquettes sont stockées hors de la forêt. Le bois est transformé en plaquettes soit en forêt soit à l'entrepôt intermédiaire. L'approvisionnement indirect est cher car il nécessite un entrepôt intermédiaire et plus de manutentions. Il permet par contre de faire face facilement à des fluctuations de la demande, et de fiabiliser ainsi la filière d'approvisionnement.

Les plaquettes fines et sèches sont utilisées dans des petites chaudières automatiques dans des habitations individuelles ou des petits réseaux de chaleurs de plusieurs logements. Les grosses plaquettes sont utilisées dans des chaufferies collectives et des réseaux de chaleur.

L'unité de mesure la plus utilisée est le volume apparent : MAP Mètre cube apparent de plaquettes, ou la tonne pour les grosses chaufferies.

Le contenu énergétique des plaquettes forestières vertes est en moyenne de 2200 à 2800 kWh par tonne pour une humidité de 40 à 50%, pour des plaquettes forestières fines et sèches, le contenu est 3300 à 3900 kWh par tonne pour une humidité de 20 à 30 %.

Les combustibles provenant de l'industrie du bois :

Les écorces :



Les écorces sont utilisées pour le bois-énergie dans des grosses chaufferies (de puissance supérieure à 1 MW) pour combustibles humides, soit en autoconsommation directement dans les scieries pour alimenter des séchoirs, soit dans des chaufferies collectives pour alimenter des réseaux de chaleurs.

Seules les plus grosses scieries sont munies d'écorceuses, et les scieries de résineux sont généralement mieux équipées que les scieries de feuillus.

Le contenu énergétique des écorces est en moyenne de 1 600 à 2 800 kWh par tonne pour une humidité de 40 à 60%.

Les sciures et copeaux :



Les copeaux et sciures sèches sont produits au cours des différentes opérations effectuées sur la matière première. La granulométrie des copeaux et des sciures varie selon le mode de production, scies à ruban, alternatives ou circulaires. La sciure est généralement captée par aspiration et stockée en silo. Son humidité initiale est celle du bois scié (entre 50 et 70 %) et diminue rapidement ensuite.

On peut distinguer des sciures "propres", aspirées directement au dessus des machines et les sciures "sales", récupérées à même le sol et souvent mélangées à des corps étrangers et des écorces. Les sciures peuvent être valorisées sur le lieu de production avec une chaudière automatique pour le chauffage des bureaux, des ateliers ou l'alimentation de séchoirs. Mais dans le cas des sciures propres, elles sont le plus souvent valorisées dans la fabrication des panneaux de particules ou dans la fabrication de granulés à usage énergétique (compression).

Le contenu énergétique des copeaux est en moyenne de 4 400 kWh par tonne pour une humidité de 10 à 15 %. Par contre pour une humidité de 40 à 60 %, le contenu énergétique des sciures est en moyenne de 1600 à 2800 kWh par tonne.

Les plaquettes d'industrie :



Les plaquettes d'industries sont issues du broyage des dosses et délignures, des chutes de tronçonnage, des nez de sapin, des noyaux de déroulage ou des chutes de découpe de petites dimensions.

La fabrication des plaquettes permet de valoriser les connexes que les scieries ne sont plus autorisées à brûler. Les plaquettes peuvent également être valorisées sur le lieu de production avec une chaudière automatique pour le chauffage des bureaux, des ateliers ou l'alimentation de séchoirs.

Le contenu énergétique de ces plaquettes est en moyenne de 2 200 à 3 300 kWh par tonne pour une humidité comprise entre 30 et 50 %.

Les granulés :



Les granulés se présentent sous la forme de cylindre de 6 à 10 mm de diamètre et d'une longueur moyenne de 2 cm. Ils sont fabriqués uniquement à partir de sciures de bois compressées sans agent de liaison. Ce combustible, très dense, dispose d'un pouvoir calorifique minimum de 4 600 kWh par tonne avec une humidité sur poids brut du granulé de 8 %. Sa masse volumique est de 0,7 tonne par mètre cube ce qui facilite le transport et le stockage.

Les granulés s'utilisent dans les poêles et les chaudières automatiques.

Les briquettes ou bûchettes reconstituées :



Les briquettes ou bûchettes reconstituées sont fabriquées à l'aide d'une presse à partir de copeaux et de sciures des scieries et des entreprises de la seconde transformation du bois. Elles se présentent sous la forme d'un cylindre de 30 mm de diamètre et de 20 à 50 cm de longueur.

Le contenu énergétique des briquettes reconstituées est en moyenne de 4 600 kWh par tonne pour une humidité de 8 à 10 % sur brut.

Les briquettes ou bûchettes reconstituées sont utilisées dans les cheminées ouvertes, les inserts, les foyers fermés, les chaudières bûches, les poêles, les cuisinières et les grosses chaudières automatiques.

Les combustibles provenant de la filière déchets

Les bois de rebut :



Les bois de rebut correspondent à des produits en bois "en fin de vie" ou usagés.

Ils se répartissent dans plusieurs catégories : bois issus des chantiers de démolition, déchets bois industriels, meubles et objets divers, emballages (palettes, cagettes, caisses...). Ces produits proviennent des industries (automobile, électroménager...), des centres de tri de DIB (déchets industriels banals) ou des déchetteries (particuliers...).

On distingue 2 types de bois de rebut : les bois de rebut non souillés qui peuvent être utilisés dans des chaufferies bois (palettes, cagettes, planches, bois de coffrage, caisses, cageots, ...) et les bois de rebut souillés ou les bois traités qui doivent suivre les filières agréées de traitement (traverses de chemin de fer, panneaux de particules, bois agglomérés, poteaux EDF, ...).

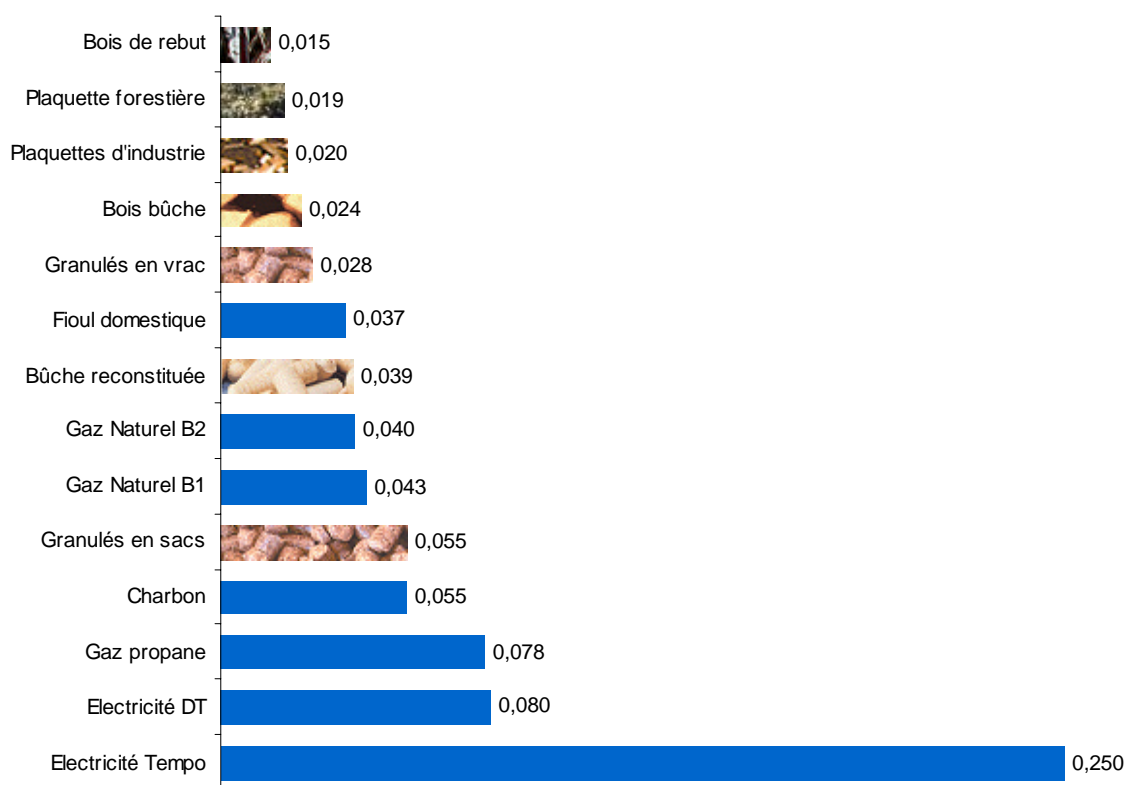
Une fois triés, les objets en bois peuvent être : soit réparés (meubles, palettes multirotations...), puis réemployés ; soit utilisés comme matières premières (usines de panneaux de particules); soit consommés comme combustible bois dans des chaudières.

Seuls les bois non-souillés peuvent être utilisés comme combustible dans des chaufferies bois. Une plate-forme de conditionnement est nécessaire pour fabriquer du combustible à partir de bois de rebut. Elle se compose d'un pré-broyage grossier, d'un broyage fin, d'un déferraillage, voire d'une démétallisation et d'un criblage. Pour les autres types de bois de rebuts, leur valorisation énergétique s'apparenterait à de l'incinération de déchets spéciaux, ce qui implique des traitements de fumées dont le coût n'est pas justifié au regard des enjeux, qui plus est dans une région où la ressource en bois est abondante.

★ Les prix des combustibles Bois énergie

Le prix des combustibles bois est variable selon les essences d'origines, les étapes de manutention (transport, stockage, séchage...) et les régions. En moyenne, le bois énergie est moins onéreux que les énergies classiques.

Les coûts de l'énergie tels qu'ils sont indiqués dans le graphique suivant sont les coûts de l'énergie en euros par kilowattheure (base de prix : 2002), ils ne tiennent pas compte des rendements des appareils de chauffage²⁵.



Prix des différentes énergies en euros par kWh

(sources : ITEBE 2002 d'après l'ADEME, ENERSTAT, le Ministère de l'économie des finances et de l'industrie, l'Observatoire de l'énergie et les fournisseurs de combustibles.)

★ Aides à l'investissement

Les aides allouées à la filière bois sont calculées au cas par cas le plus souvent. Au maximum, le montant de cette aide s'élève à 6000 euros/tep pour une chaufferie associée à un réseau de chaleur, 4000 euros/tep pour une chaufferie collective et à 200 euros/tep pour une chaufferie industrielle.

Le coût total de l'installation d'une chaufferie individuelle s'élève à 10 000 euros.

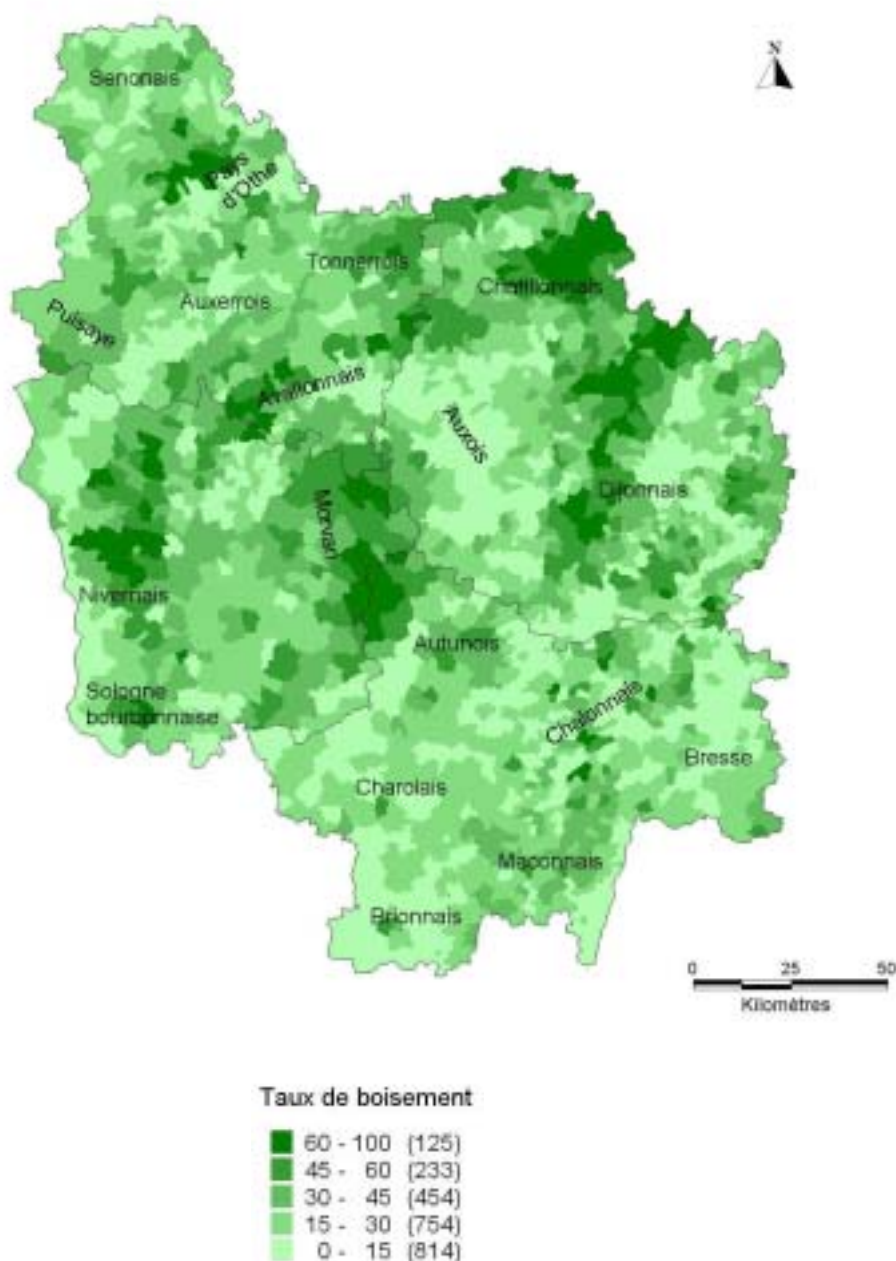
²⁵ La plaquette d'industrie peut revenir moins chère que la plaquette forestière, notamment lorsqu'elle n'est pas stockée en extérieur, car cela lui permet d'avoir un taux d'humidité faible et d'apporter ainsi un bon rendement.

2.6.2) Etat des lieux

☆ *Le bois en Bourgogne*

La Bourgogne est une région très boisée : avec ses 970 000 hectares de forêt, elle se place au cinquième rang national. Si en moyenne le taux de boisement est important (30,4%), il est très inégal sur l'ensemble du territoire bourguignon. Certaines zones dépassent très largement ce taux comme le Morvan (60 %) ou le Chatillonnais (jusqu'à 90%). D'autres au contraire sont très au dessous de la moyenne comme l'Auxois (entre 0% et 12%) ou la Bresse (15%).

Taux de boisement en Bourgogne
Source : inventaire communal de 1998



Au cours des 20 dernières années, la superficie de la forêt s'est accrue d'environ 30 000 hectares ; elle a augmentée de 1,4% en une dizaine d'années. Cette évolution est variable d'un département à l'autre : la surface boisée diminue dans l'Yonne et la Nièvre alors qu'elle augmente dans la Côte d'Or et la Saône et Loire.

☆ *Structure des zones boisées*

La forêt bourguignonne est constituée, en surface, par deux tiers de propriétés privées et un tiers de forêts publiques.

Les forêts privées s'étendent sur 650 000 hectares et appartiennent à 166 000 propriétaires environ. Les propriétés d'au moins 25 hectares d'un seul tenant représentent en surface la moitié de la forêt privée mais ne sont détenues que par 1,8% des propriétaires. L'autre moitié est constituée de très nombreuses petites forêts privées : les propriétés de moins de 4 hectares ne représentent que 21% de la superficie des forêts privées mais correspondent à plus de 90% des propriétaires. Cette structure en petites propriétés rend difficile la gestion du patrimoine forestier de Bourgogne.

La forêt publique est gérée par l'Office National des Forêts et s'étend sur 313 000 hectares environ. Elles est constituée de 109 forêts domaniales et 1603 forêts appartenant à des collectivités et des établissements publics. En moyenne, les forêts domaniales sont 7 fois plus étendues que les autres forêts publiques. Le département de la Côte d'Or, qui possède de nombreuses forêts communales, couvre 50% de la forêt publique de Bourgogne.

☆ *Essences et types de peuplement*

La forêt de Bourgogne est très largement dominée par les peuplements de feuillus qui représentent 83 % de la surface boisée. Ce peuplement de feuillus est constitué de chênes à 77%. Cette valeur élevée place la Bourgogne au premier rang national en surface et en volume sur pied. 66% de la surface totale boisée est couverte par les peuplements à chêne prépondérant.

Les conifères (ou résineux) ne représentent, avec 166 000 ha, que 17% de la surface boisée. Bien que toujours minoritaires dans l'ensemble des régions forestières, leur proportion est en augmentation et atteint 40% dans le Morvan ou le Maconnais. Les pins sont abondants dans le nord de la Bourgogne tandis que le douglas est largement représenté dans le Morvan et le sud de la Saône et Loire. La Bourgogne est la première région française pour la surface des peuplements en douglas.

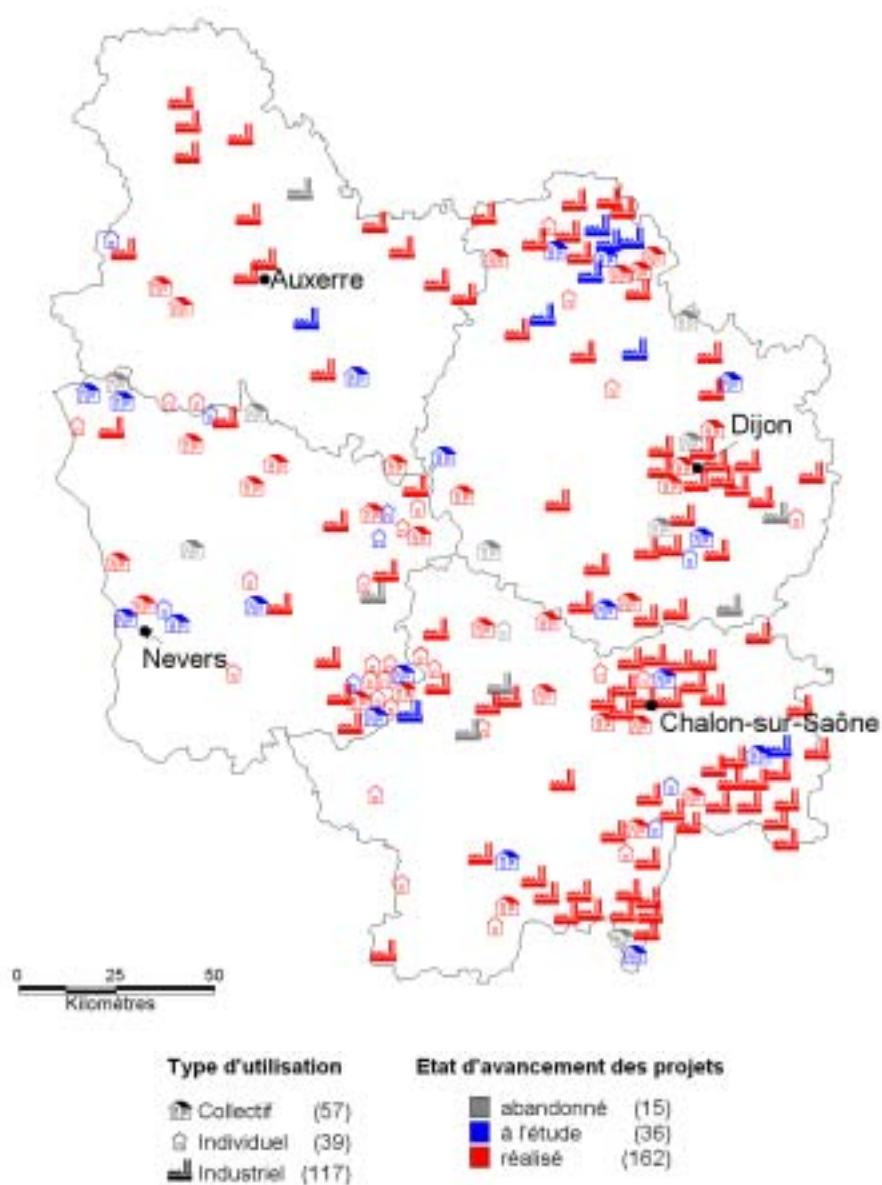
Les 970 000 hectares de la forêt bourguignonne correspondent à 133 millions de m³ de bois sur pied dont près de 65 millions de m³ pour le chêne. La forêt de Bourgogne est une grande productrice de bois puisqu'elle fournit près de 6 millions de m³ chaque année pour une exploitation aujourd'hui d'environ 3.2 millions de m³.

☆ *Les chaufferies bois actuelles*

En 1995, le Conseil régional de Bourgogne, l'ADEME, l'Europe, l'Etat et les partenaires de la filière bois se sont associés pour mettre en place un Plan Bois Energie et Développement local. Malgré la relative fragilité de la dynamique créée, ce programme a permis l'installation de chaufferies bois essentiellement industrielles pour une puissance installée totale de 54 MW. La reprise de ce programme en 2000 consolide la structuration de la filière Bois Energie qui devient plus crédible au regard des effets induits. Cependant le manque de communication se fait ressentir et seuls 7 MW ont été installés depuis 3 ans.

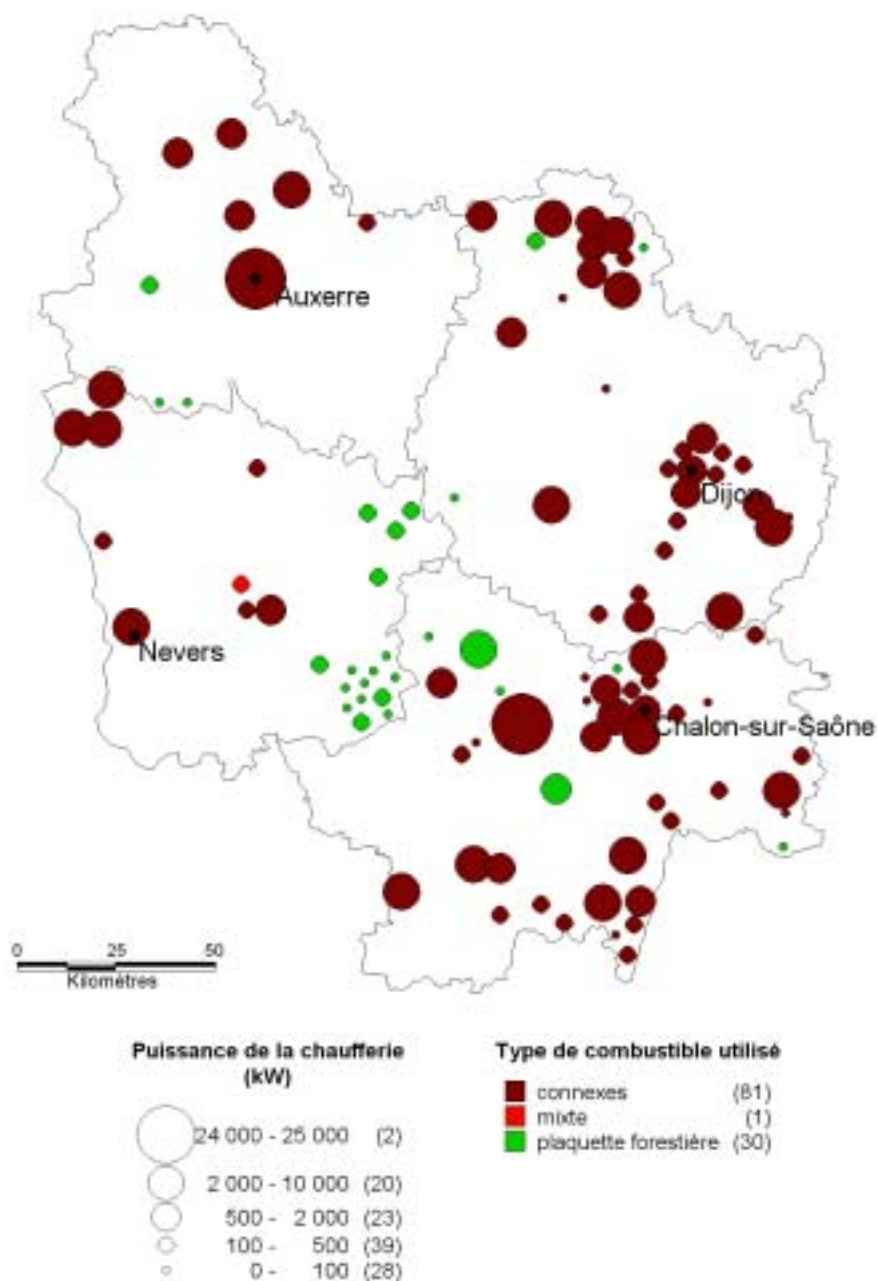
Sur les 213 projets de chaufferies bois déposés pour demande de subvention à l'ADEME depuis 1995, plus de la moitié correspondent à des chaufferies industrielles.

Localisation, application et état d'avancement des projets de chaufferies bois
Source : ADEME



Aujourd'hui 70% des chaufferies bois installées utilisent des connexes de scieries comme combustible. Le développement des filières d'approvisionnement et la volonté de l'ADEME et de la Région de favoriser l'implantation de chaufferies collectives devrait à terme augmenter la part des plaquettes forestières.

*Puissance et combustible bois utilisé
(pour les chaufferies pour lesquelles on dispose d'informations)
Source : ADEME*



☆ Les filières d'approvisionnement

Pour l'approvisionnement des chaufferies automatiques, il existe aujourd'hui en Bourgogne trois filières locales :

- La CUMA de Millay (Nièvre), qui dispose de 3 broyeurs forestiers et d'un hangar de stockage, a créé un Groupement d'Intérêt Economique. Ce GIE vend ses plaquettes forestières (23 euros le MAP) à la mairie qui alimente ainsi les chaufferies individuelles et la chaufferie collective de la commune. Une fois les frais de fonctionnement et d'entretien du matériel décomptés, le GIE reverse 15 euros par MAP aux agriculteurs. Ce micro-circuit est une filière d'approvisionnement très locale dont le périmètre de livraison ne dépasse pas 10 Km.

- Des industriels de la filière Bois se sont regroupés pour créer Bois Energie Bourgogne, une filière d'approvisionnement très structurée qui livre essentiellement des plaquettes de scieries dans un rayon de 100 Km.

- Le Parc Naturel Régional du Morvan fonctionne en circuit fermé pour s'auto-alimenter en combustible bois. Sa structure en régie lui permet de produire et stocker ses propres plaquettes forestières. Sauf cas exceptionnel, le Parc n'a pas vocation à vendre cette production.

Plusieurs projets de structures d'approvisionnement en combustibles bois émergent actuellement : dans le cadre d'un contrat ATEnEE (Actions Territoriales pour l'Environnement et l'Efficacité Energétique), l'Association FLAM Bois Energie (Filière Locale Autunois Morvan) vient de se former avec pour objectif de créer une SCIC (Société Coopérative d'Intérêt Commun) dès que le volume de combustible dont elle dispose est suffisant pour être intéressant à commercialiser. D'autre part, de nombreux agriculteurs ont pour projet de se regrouper pour créer plusieurs micro filières d'approvisionnement. Cette démarche commence souvent par l'achat en commun d'un broyeur.

☆ Volume actuel exploité

Les différentes filières d'exploitation du bois ne sont pas toutes autant consommatrices en bois les unes que les autres. Voici en Bourgogne les volumes exploités par chacune d'entre elles :

- Sur les 3,2 millions de m³ issus de l'exploitation forestière, près de la moitié est aujourd'hui utilisée pour le bois de chauffage. Ce chiffre est difficile à évaluer. On ne connaît précisément que le volume de bois bûche provenant des exploitations forestières de plus de 10 hectares puisqu'elles sont soumises à déclaration. On estime que 85% du bois bûche provient de l'affouage et des exploitations de moins de 10 hectares.
- Les deuxièmes consommateurs sont les industries de première transformation du bois qui utilisent 37% du volume total initial. Près de la moitié du volume transformé par les scieries part en déchets : aujourd'hui une partie de ces connexes (200 000 m³) sont valorisés en plaquettes de scieries.
- Le troisième consommateur en bois sont les industries de deuxième transformation du bois, qui utilisent près de 600 000 m³ du volume total initial (soit 18%). Souvent ces industries sont équipées de chaufferies bois qui permettent de valoriser leurs connexes en auto consommation.
- Les industries de façonnement du bois, et notamment les nombreuses parquetteries de chêne, valorisent près de 500 000 m³ dont la moitié part en connexes. Quelques menuiseries ou parquetteries sont équipées de chaufferies bois qui permettent de chauffer les bâtiments tout en valorisant leurs propres connexes.
- Enfin, les industries du bois de deuxième qualité valorisent environ 200 000 m³ du volume issu des scieries notamment grâce à la fabrication de palettes ou d'emballages.

L'estimation de la production de chaleur par le bois énergie est délicate du fait de la grande variabilité des consommations en fonction des applications (individuel ; collectif ; industriel ; réseaux de chaleur), du type de combustible, et du volume représenté par une éventuelle énergie d'appoint utilisée. Par ailleurs, la réglementation interdisant aux industriels de la filière bois de se débarrasser de leurs déchets par brûlage à l'air libre, des données fiables sur les quantités de connexes valorisées thermiquement sont difficiles à obtenir.

Volume de bois exploité par chaque filière
Sources : ADEME, DRAF



Etant donné la grande quantité de bois mobilisable en Bourgogne, le prix du bois est globalement moins élevé que la moyenne française, quelle que soit le combustible ou la filière d'approvisionnement.

Quelques exemples de chaufferies bois permettent d'illustrer cette observation :

- Le Parc Naturel Régional du Morvan dispose d'une chaufferie bois d'une puissance de 350 kW qui dessert une dizaine de bâtiments pour une surface totale de 2500 m². En auto-alimentation, le prix entrée chaudière de la plaquette forestière varie entre 0,021 et 0,033 € le kWh.
- La puissante chaufferie bois d'Autun (8 MW) alimente 2/3 des foyers de la ville et couvre 70% des besoins énergétiques du réseau de chauffage urbain. Approvisionnée par BEB, la ville d'Autun revend l'énergie aux usagers à un prix calculé par rapport au prix du fioul et intégrant le coût d'amortissement, d'exploitation et de combustible.
- La filière locale d'approvisionnement de Millay permet à la quinzaine d'usager des chaufferies automatiques (collectives ou individuelles) de la commune d'acheter un combustible bois à un prix entrée chaudière de 0,0215 €/kWh.

2.6.3) Potentiel bois énergie en Bourgogne

☆ Potentiel de combustible mobilisable

Au regard de la structure actuelle de la filière bois, les deux principales réserves de combustible bois sont les connexes de scieries et les produits de la forêt non exploités facilement mobilisables. On estime à 50 000 tonnes la quantité de connexes de scieries qui sont mal valorisés actuellement et qui pourraient être transformés en plaquettes de scieries. Ce chiffre peut varier (et surtout augmenter) en fonction de l'activité des usines de panneaux de particules ou de pâte à papier qui ajustent la quantité de connexes rachetés aux scieries selon leur activité. La quantité de produits issus de l'exploitation de la forêt est estimée à 50 000 tonnes par départements soit 200 000 tonnes sur l'ensemble de la région.

Les autres réserves de combustibles bois sont la filière de l'élagage routier et des emballages bois en fin de vie.

☆ *Potentiel de production*

De façon théorique, on peut estimer un potentiel de développement du bois-énergie en Bourgogne en considérant qu'une chaufferie automatique au bois est à installer toutes les deux communes. En prenant une chaufferie bois standard de 200 kW assurant le chauffage d'une surface de 1400 m² environ et consommant 300 MAP (m³ de plaquettes) par an (soit l'équivalent de 30 000 litres de fioul), on obtient une puissance installée en Bourgogne d'environ 200 MW. Les 300 000 m³ de plaquettes nécessaires à l'alimentation de ces chaufferies correspondent à la part des connexes de scieries aujourd'hui non valorisée. Une telle puissance installée permet de produire par chaudière environ 250MWh/an²⁶ soit une production totale de **250 GWh** thermiques par an.

Cette supposition est une hypothèse basse du potentiel en bois-énergie qui favorise le développement rural des « petites » chaudières locales mais néglige le potentiel de développement des grosses chaufferies individuelles ou collectives de plusieurs MW²⁷. Cette hypothèse démontre qu'à court terme, la structuration actuelle du Bois-énergie en Bourgogne est suffisante pour subvenir aux besoins nouveaux. Sans modifier le système actuel mais en augmentant la part des connexes de scieries transformés en plaquettes, il est possible de subvenir aux besoins en combustible de 1000 chaufferies bois de 200 kW en moyenne.

A moyen terme, il sera nécessaire de développer les autres filières d'approvisionnement en combustibles bois : produits issus de l'élagage routier, connexes des menuiseries, valorisation des palettes usagées...

Enfin, à long terme, et dans l'éventualité d'un besoin en bois nettement plus important de par l'augmentation des chaufferies bois, l'exploitation de la forêt présente un gisement très important, puisqu'elle peut atteindre 5 millions de m³ (contre 3,2 aujourd'hui) sans mettre en péril le renouvellement végétal.

2.6.4) Axes de développement

L'offre de combustible bois existe largement en Bourgogne, et les filières d'approvisionnements pourront se développer en fonction de la demande. Il y a lieu aujourd'hui de susciter une augmentation forte de cette demande.

Les enseignements tirés des deux plans Bois-énergie en Bourgogne montrent très clairement qu'il est indispensable d'améliorer la communication et la diffusion de l'information pour développer cette filière. L'emploi d'un animateur Bois dans le Châtillonnais a permis de développer la filière et d'augmenter de façon considérable le nombre de projets d'installations de chaufferies bois. Cette animation spécifique mise en place en 1997 en partenariat avec le Plan Bois Energie et le Groupement de Recherche d'Emplois Nouveaux a permis une sensibilisation certaine dont les effets sont encore visibles aujourd'hui (notamment par exemple avec la création de deux réseaux de chaleur au Bois prévus pour 2004 et 2005 dans la commune de Laignes).

De même, le relais d'information effectué par le parc du Morvan a largement contribué à l'aboutissement de plusieurs projets.

Le travail de terrain mené sur 116 communes dans le cadre de cette étude régionale confirme de façon très nette que le besoin et la demande d'information à l'échelle locale sont réels et qu'il existe des projets potentiels réalisables à court terme. L'image du bois reste peu valorisante dans les communes qui y voient encore des contraintes fortes d'approvisionnement en se demandant par exemple qui va bien pouvoir s'occuper de remettre des bûches dans la chaudière ! Les messages sur l'évolution de la technologie et le fait que cette énergie locale est génératrice d'activité pour la région sont généralement écoutés avec attention.

Faute de diffusion forte de l'information, ce sont les commerciaux des autres énergies qui occupent le terrain, et les projets de chaufferies neuves ou de rénovations de chaufferies existantes qui en résultent génèrent moins d'activité locale que dans le cas de l'utilisation du bois énergie.

²⁶ En sortie de chaudière, avec une consommation de combustible de 300 MAP/an, un PCI moyen de 3,5 kWh/kg (soit environ 1000 kWh/MAP) et un rendement de chaudière de 80%.

²⁷ Le potentiel en zones urbaines et zones d'activités peut être très important, à l'image des trois projets qui vont voir le jour en région Lyonnaise en 2004 : 2 chaufferies de 6 MW à Vénissieux (consommation prévisionnelle de 30 000 tonnes – principalement écorces, sciures et déchets industriels banals de bois – pour alimenter logements ; bâtiments tertiaires ; groupe scolaire... sur le réseau de chaleur existant) ; une chaufferie dans le quartier de la Duchère (consommation 20 000 tonnes) ; une chaufferie avec création d'un réseau de vapeur pour le Parc Industriel de la Plaine de l'Ain à Meximieux (consommation 30 000 tonnes).

CONCLUSION POUR LES ENERGIES RENOUVELABLES

Toutes les énergies renouvelables présentent de réels potentiels de développement sur la région. Les hypothèses prises dans la présente étude pour définir un potentiel n'ont pour vocation que d'indiquer des ordres de grandeur par filière permettant d'en apprécier les enjeux respectifs.

Le bois est aujourd'hui l'énergie la plus utilisée et il présente également le potentiel de développement à court terme le plus fort, du fait d'une ressource abondante et de filière d'approvisionnement suffisamment structurée pour faire face à une augmentation de la demande. L'exploitation globale de la forêt, qui représente actuellement un volume de 3,2 M de m³, pourrait atteindre 5 M de m³ sans remettre en cause le renouvellement végétal.

Sans être une région très ventée, la Bourgogne présente près de 700 km² de territoires pour lesquels l'implantation d'éoliennes pourrait se faire dans des conditions de vent convenables, notamment pour des machines de grande hauteur. Ces zones sont situées à proximité de postes sources et en dehors des différentes zones à enjeux environnementaux ou de servitudes.

De très nombreux sites de microhydroélectricité sont présents sur tout le territoire de la région. Ils représentent un potentiel de production d'électricité diffus, difficile à identifier, qui mériterait d'être valorisé. 375 sites ont été recensés dans le cadre de cette étude. Les données disponibles ne sont pas exhaustives, et un important travail de terrain est nécessaire pour connaître les caractéristiques des sites et leur état, de façon à mesurer précisément les enjeux de cette filière.

Le solaire thermique, encore peu développé, bénéficie d'une bonne dynamique ces dernières années par la formation d'installateurs et la mise en place d'un programme d'aide substantiel. Cette énergie pourrait néanmoins progresser fortement, l'ensoleillement moyen étant suffisant, et le réseau d'installateur Qualisol mis en place restant fortement sous exploité aujourd'hui (seulement 80 Chauffe eau solaires existants pour 75 installateurs adhérents à la charte Qualisol).

Il n'existe pas en Bourgogne d'installateur spécialisé en solaire photovoltaïque du fait du faible développement de cette énergie. Les sites existants ont été installés par les 2 grands ensembleurs français du secteur qui couvrent toute la France. Une montée en compétence d'installateurs locaux ne serait utile que dans le cadre d'un développement important lié à la mise en place de budgets conséquents. La fiche action N°17 (voir en annexe) concernant la mise en place d'un générateur solaire photovoltaïque raccordé au réseau sur une école maternelle rappelle que le photovoltaïque doit être utilisé comme vecteur de la maîtrise de l'énergie. Compte tenu du coût élevé de production, une démarche poussée de MDE doit impérativement accompagner la mise en place d'un générateur pour en augmenter le caractère démonstratif. Cette démarche, qui doit être intégrée de façon précise lors de l'étude de faisabilité, permet d'améliorer la rentabilité de l'opération.