

Bilan et perspective du développement de l'énergie éolienne en France en 2003

Bernard Chabot
Expert Senior

ADEME
Département Energies Renouvelables

Comme l'année précédente [1] cette étude fait le bilan du développement du parc éolien en France à la fin de l'année, détaille les caractéristiques et les performances de ce parc et propose quelques conclusions quant aux perspectives de croissance de cette filière en France, notamment dans le cadre de son développement en Europe et dans le monde.

La plupart des données statistiques sont issues du système de suivi mis en place et exploité à la demande de l'ADEME et avec son soutien par les sociétés TEXYS et MEDSYS et consultable sur le site www.suivi-eolien.com.

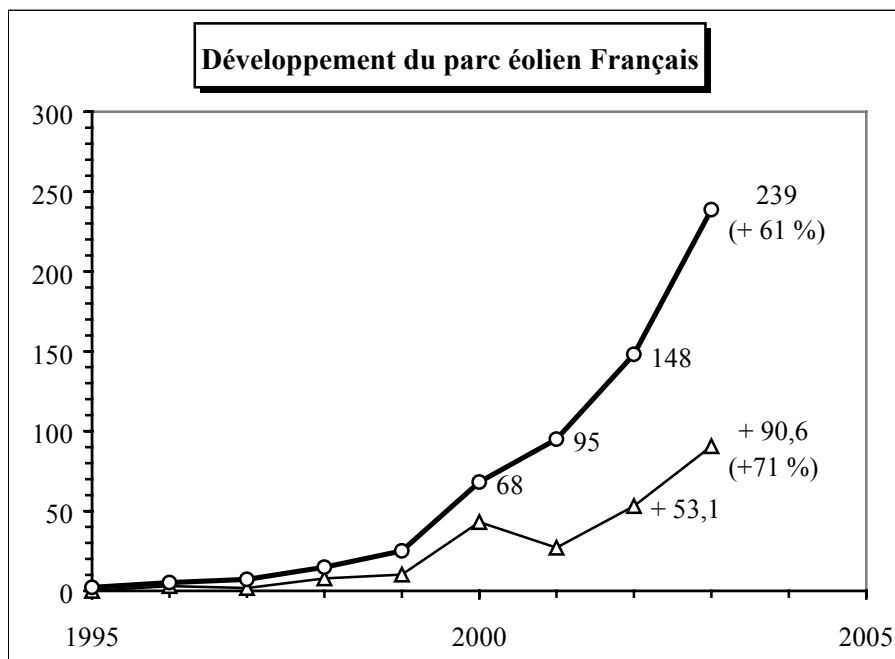
1) LE DEVELOPPEMENT DU PARC EOLIEN FRANÇAIS EN 2003

Avec 239 MW installés en France (métropole et DOM-TOM) en fin 2003 et comme on le voit sur la figure 1, la croissance du parc éolien opérationnel en 2003 a été de 61 % sur un an au lieu de 56 % en 2002.

Dans l'absolu, cette croissance a été de seulement 90,6 MW : si ce score représente 71 % de plus que les 53 MW installés en 2002, il reste néanmoins en deçà des attentes et des estimations du développement du marché éolien national faites il y a seulement un an.

De plus ces données sont à relativiser compte tenu du développement toujours très rapide de l'éolien dans le monde et surtout en Europe. On se reportera pour ces comparaisons au § 3 ci après. On notera pour l'instant que le ratio de puissance installée est en France de 4 W/habitant, soit 150 fois moins qu'au Danemark (environ 3 100 MW pour 5,3 millions d'habitants, soit 585 W/habitant) ou 43 fois moins qu'en Allemagne (environ 14 000 MW pour 82 millions d'habitants, soit 170 W/habitant).

Figure 1: le développement récent du parc éolien Français et du marché annuel correspondant



2) LES CARACTERISTIQUES DETAILLEES DU PARC

2.1) Répartition régionale

2.1.1) Répartition métropole / DOM-TOM

Le tableau 1 ci dessous résume la répartition des 481 éoliennes du parc opérationnel en fin 2003 entre la métropole et les DOM-TOM. Alors que la répartition des machines est à peu près égale entre la métropole et les DOM-TOM, celles installées dans ces dernières zones ne représentent que moins de 11 % de la puissance du parc, celles installées en métropole en représentant presque 90 %. Ceci est dû au fait de la prépondérance en DOM-TOM des machines de petite puissance rabattables en cas d'alerte cyclonique (technologie VERGNET), ce qui mène à une puissance moyenne des machines de 110 kW en DOM-TOM au lieu de 870 kW en métropole.

Tableau 1: répartition des machines du parc en fin 2003 entre la métropole et les DOM-TOM

Régions	P MW	n	Pu MW	%P	% n
Métropole	213,79	246	0,87	89,4%	51%
DOM-TOM	25,26	235	0,11	10,6%	49%
Total	239,05	481	0,50	100%	100%

En ce qui concerne la répartition des 104 machines installées en 2003, on voit dans le tableau 2 ci dessous qu'environ deux machines sur trois ont été installées en métropole et qu'elles représentent avec leur puissance moyenne de 1,23 MW plus de 90 % des 90,6 MW installés en 2003, alors que celles installées en DOM-TOM ne représentent que 9 % de la puissance du fait de leur puissance moyenne de 220 kW. On constate donc comme dans les autres pays une croissance notable d'une année sur l'autre des puissances moyennes des aérogénérateurs installés.

Tableau 2: répartition des machines installées en 2003 entre la métropole et les DOM-TOM

Régions	P MW	n	Pu MW	%P	% n
Métropole	82,48	67	1,23	91,0%	64%
DOM	8,14	37	0,22	9,0%	36%
Total	90,62	104	0,87	100%	100%

2.1.2) Répartition régionale détaillée

La figure 2 ci dessous détaille la répartition géographique des 239 MW du parc opérationnel en fin 2003. On constate la prépondérance des régions où le développement éolien a commencé le plus tôt, notamment la région Languedoc-Roussillon qui accueille 44 % de la puissance installée (43 % en fin 2002). Environ trois quart de la puissance est répartie entre seulement 5 régions. Les régions "insulaires" (Corse et DOM-TOM) représentent 15 % de la puissance totale. Au total 14 régions accueillent déjà des aérogénérateurs, ce qui commence à traduire la possibilité de diversification des implantations du fait du système tarifaire modulé en fonction de la qualité des sites mis en place en 2001.

La figure 3 ci dessous détaille la répartition géographique des 90 MW installés en 2003 dans huit régions : on retrouve la prépondérance du Languedoc-Roussillon avec 45 % de la puissance totale, suivi par le Nord pas de Calais (13 %) et la Guadeloupe (9%).

Figure 2: répartition régionale du parc en fin 2003

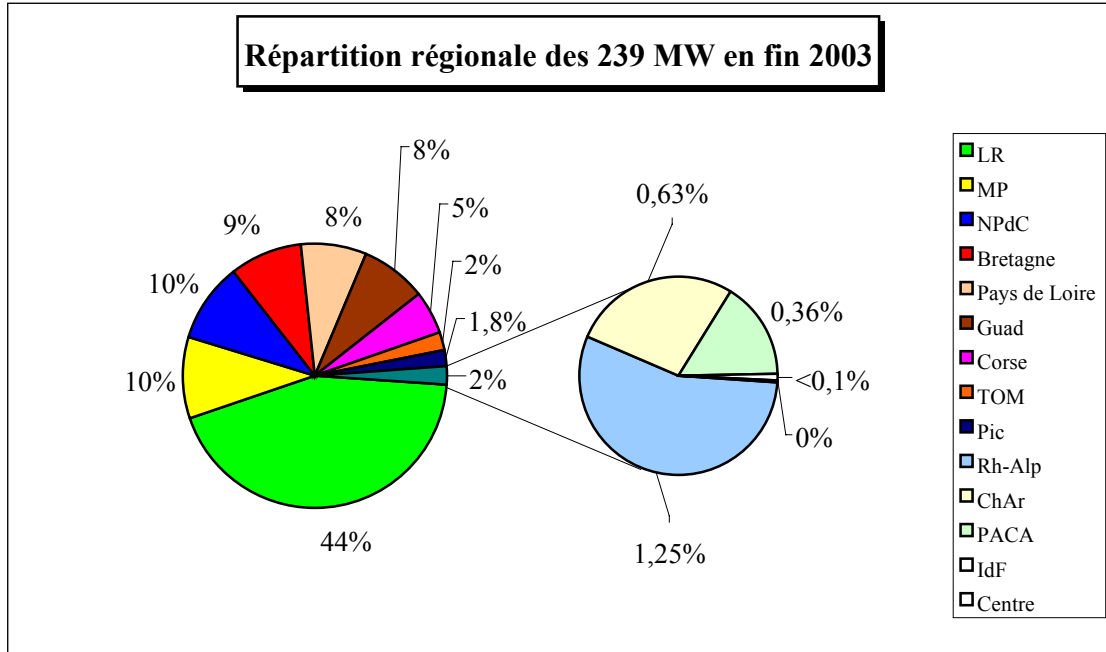
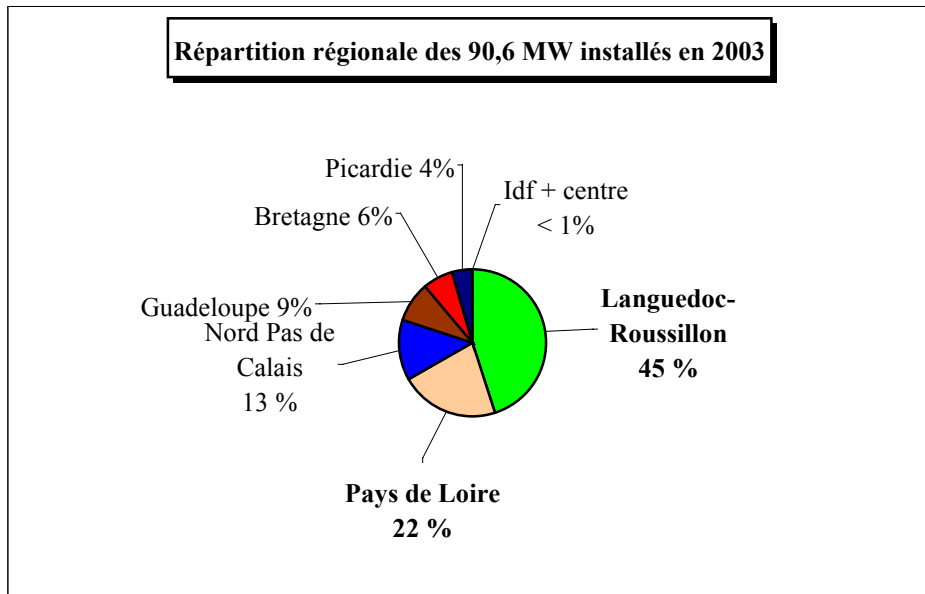


Figure 3: répartition régionale des installations de 2003



2.2) Caractéristiques techniques du parc

Le tableau 3 ci dessous indique la répartition du parc en fin 2003 par classe de diamètres de machines, pour lesquelles sont indiquées les puissances minimales et maximales des machines concernées, leur nombre et leur puissance moyenne. La plus grande éolienne a été installée en septembre 2003 par TOTAL dans son parc de 12 MW à Mardyck dans le département du Nord: il s'agit d'un modèle General Electric Wind Energy de 104 mètres de diamètre.

Tableau 3: Répartition des machines par classe de diamètre

Classe de diamètre	Pmin MW	Pmax MW	n machines	P MW	Pu moyenne kW	% n	% P	Cumul % n	Cumul % P
D > 90 m	3	3	1	3,0	3 000	0,2%	1,3%	0,2%	1,3%
64 < D < 90 m	1,5	2,5	21	44,5	2 119	4,4%	18,6%	4,6%	19,9%
45 < D < 64 m	0,066	1,3	132	120,8	915	27,4%	50,5%	32,0%	70,4%
32 < D < 45 m	0,40	0,75	62	38,1	615	12,9%	15,9%	44,9%	86,3%
D < 32 m	0,02	0,30	265	32,7	123	55,1%	13,7%	100%	100%
TOTAL	min: 0,02	max: 3	481	239,1	497	100%	100%		

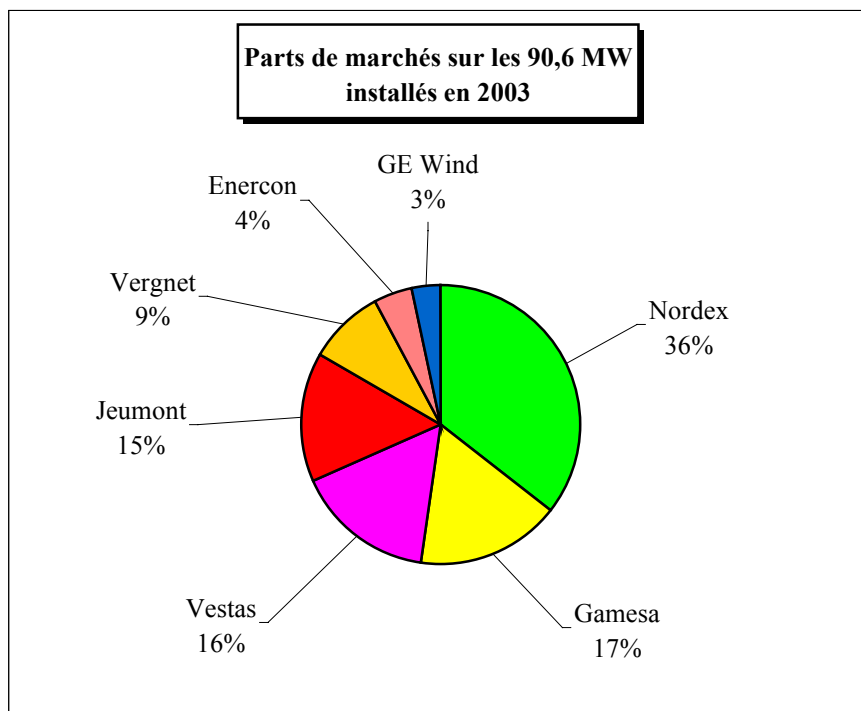
On remarque dans ce tableau que les machines de 1,5 à 2,5 MW représentent environ 20 % de la puissance installée alors qu'elles ne comptent que pour moins de 5 % du nombre de machines. Cette tendance au renforcement de la contribution en puissance et en énergie de cette classe de machines se renforcera dans le futur car elle est maintenant la plus utilisée en Europe. A l'autre extrémité du spectre de puissance, les machines de moins de 400 kW, malgré leur nombre important (55 % du parc), ne représentent que 14 % de la puissance installée.

Les aérogénérateurs installés en 2003 utilisent majoritairement des génératrices asynchrones (généralement à vitesse variable pour les grandes puissances), mais on note que la part de marché 2003 des constructeurs proposant des machines à génératrices synchrones à vitesse variable et à attaque directe (JEUMONT et ENERCON) s'élève à plus de 18 % avec au total 16,5 MW installés.

2.3) Parts de marché des constructeurs d'aérogénérateurs

La figure 4 ci dessous indique les parts du marché des 90,6 MW installés en 2003 par constructeurs des machines. La part la plus importante (36 %) a été prise par NORDEX, qui avec 73 % des 53 MW installés en 2002 était déjà le premier fournisseur du marché Français tout comme en 2001. GAMESA (17 %) et VESTAS (16 %), maintenant sociétés indépendantes tant au point de vue juridique que technologique font quasiment jeu égal en deuxième et troisième place. Les constructeurs Français JEUMONT (15 %) et VERGNET (9 %) augmentent sensiblement leur contribution cumulée avec au total à 24 % du marché 2003 au lieu de 12,4 % en 2002. Enfin on notera les premières apparitions sur le marché national de deux constructeurs dans le peloton de tête mondial, ENERCON avec deux machines de 2 MW et GENERAL ELECTRIC WIND ENERGY avec une machine de 3 MW qui comme on l'a déjà indiqué est la plus puissante actuellement installée en France.

Figure 4: répartition des parts de marché des constructeurs d'aérogénérateurs en 2003



En ce qui concerne les parts de marché cumulées, le tableau 4 ci dessous récapitule les puissances et les parts de chacun des constructeurs qui ont installé des machines encore opérationnelles en France respectivement en fin 2002 et en fin 2003 ainsi que l'évolution en points de parts de marché entre ces deux années.

Ces variations de parts de marché cumulé entre fin 2002 et fin 2003 sont à manier avec précaution compte tenu du fait que le marché Français est encore jeune et surtout beaucoup plus étroit que notamment ceux d'Allemagne et d'Espagne : ces deux pays devraient représenter un parc cumulé de plus de 19 000 MW en fin 2003 soit 80 fois le parc Français. Cependant cette différence due au démarrage tardif de l'utilisation de l'énergie éolienne en France ne doit pas oblitérer le fait de plus en plus reconnu que le marché Français sera d'ici 2010 le troisième ou le quatrième marché éolien en Europe. Ainsi, dans sa révision à 75 GW de son estimation du parc éolien en Europe en 2010 [2], l'EWEA (European Wind Energy Association) estime que sur les quelques 62 GW d'aérogénérateurs à installer entre 2001 et

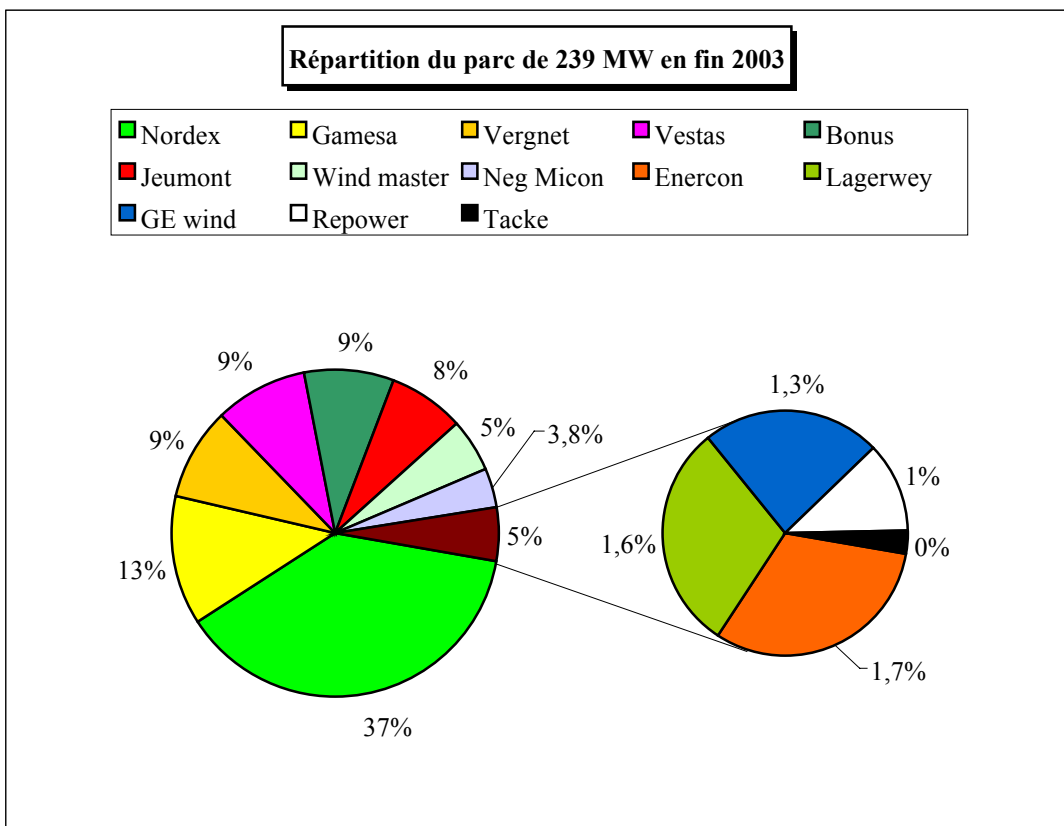
2010, la France avec plus de 9 % de cet accroissement serait au coude à coude avec la Grande Bretagne derrière l'Allemagne (35 %) et l'Espagne (20 %).

Tableau 4 : Parts des parcs opérationnels en fin 2002 et en fin 2003 et variations

Fabriquant	Fin 2003 (239 MW)		Fin 2002 (148 MW)		Evolution points de %
	MW	%	MW	%	
Nordex	90,85	38,0%	58,6	39,6%	-1,6%
Gamesa	30,48	12,8%	15,1	10,2%	2,6%
Vergnet	22,24	9,3%	13,9	9,4%	-0,1%
Vestas	22,05	9,2%	7,5	5,1%	4,1%
Bonus	20,8	8,7%	20,7	14,0%	-5,3%
Jeumont	18	7,5%	4,4	3,0%	4,5%
Wind master	12,9	5,4%	12,9	8,7%	-3,3%
Neg Micon	9	3,8%	9,0	6,1%	-2,3%
Enercon	4	1,7%	0,0	0,0%	1,7%
Lagerwey	3,83	1,6%	3,8	2,6%	-1,0%
GE wind	3	1,3%	0,0	0,0%	1,3%
Repower	1,5	0,6%	1,5	1,0%	-0,4%
Tacke	0,4	0,2%	0,4	0,3%	-0,1%
TOTAL	239	100%	148	100%	

La figure 5 ci dessous traduit les parts de marché cumulé sur les 239 MW opérationnels en fin 2003. Au total 13 constructeurs sont représentés. Le leader est toujours NORDEX avec 91 MW installés (38 %) suivi de GAMESA (12,8 %) et de VERGNET (9,3 %). Ces trois constructeurs ont donc fourni 60 % du parc. Avec la part de JEUMONT (7,5 %), les constructeurs Français ont fourni au total un peu moins de 17 % du parc.

Figure 5: Répartition des parts de marché du parc français en fin 2003



2.4) Production d'électricité

Le tableau 5 ci-dessous résume la meilleure estimation possible à ce jour de la production du parc en 2003. Elle est basée sur les productions détaillées mises à disposition du public des quelques 176 MW de parcs éoliens dont les exploitants ayant joué la transparence ont fourni en janvier 2004 des données sur au moins 9 à 11 mois pour ceux installés avant la fin 2002, et depuis leur date de mise en service industriel pour ceux ayant été installés en 2003. Le total de production correspondant en 2003 est de 311 GWh, et une extrapolation sur les quelques mois manquants aboutit à une production probable de 315 GWh sur tout 2003. Puis une estimation des productions non fournies à partir d'une estimation des facteurs de charge des parcs concernés a été effectuée et permet d'évaluer à 455 GWh l'énergie éolienne produite par les 239 MW du parc pendant l'année civile 2003, soit environ 57 % de plus qu'en 2002. Une extrapolation de la production des parcs installés en 2003 à une année complète permet ensuite d'évaluer à 540 GWh/an le productible des 239 MW du parc en fin 2003 en année pleine, par exemple l'année 2004.

Ce productible de 540 GWh/an correspond à un facteur de charge (rapport entre le productible et une production théorique des 239 MW sur 8760 heures) de $F_c = 25,8 \%$, ou de $N_h = 2\,259$ heures/an de fonctionnement équivalent à cette puissance nominale de 239 MW. La surface cumulée des rotors étant de 563 000 m², le productible moyen est de $E_{as} = 959$ kWh/an.m². Sous réserve de la validation de ces valeurs par des calculs ultérieurs basés sur la somme des productions réellement constatées par les gestionnaires du réseau, ces deux valeurs de N_h et E_{as} sont représentatives dans un contexte européen d'un parc de productivité satisfaisante.

Tableau 5 : estimation des productions d'électricité éolienne en 2003 et du productible en année pleine

Parc et production estimée		2003	2002	Variation
P nouvelle	MW/an	90,6	53	+ 71%
P parc fin année	MW	239	148	+ 61%
Production estimée E_a	GWh/an	455	289	+ 57%
Productible estimé E_p	GWh/an	540	345	+ 57%
N_h productible	h/an	2 259	2 329	NS
F_c productible	%	25,8%	26,6%	NS
E_{as} productible	kWh/m ² .an	959		

Ces 540 GWh de productible ne représentent encore que 0,15 % de la consommation intérieure d'électricité en France métropolitaine (467,3 TWh en 2003 selon RTE, pour 58,5 millions d'habitants). Avec le ratio correspondant d'une consommation globale de 8 000 kWh par habitant, cela représente la consommation totale d'une ville représentative de l'activité économique moyenne Française de 67 500 habitants. Si on rapporte cette production à la consommation moyenne d'électricité spécifique d'un foyer moyen de 2,7 personnes soit environ 2 300 kWh/an, ce sont déjà les besoins électriques domestiques et non thermiques de l'équivalent de plus de 500 000 personnes qui seront couverts par l'éolien en France en 2004.

3) MISE EN PERSPECTIVE DU DEVELOPPEMENT EOLIEN EN FRANCE

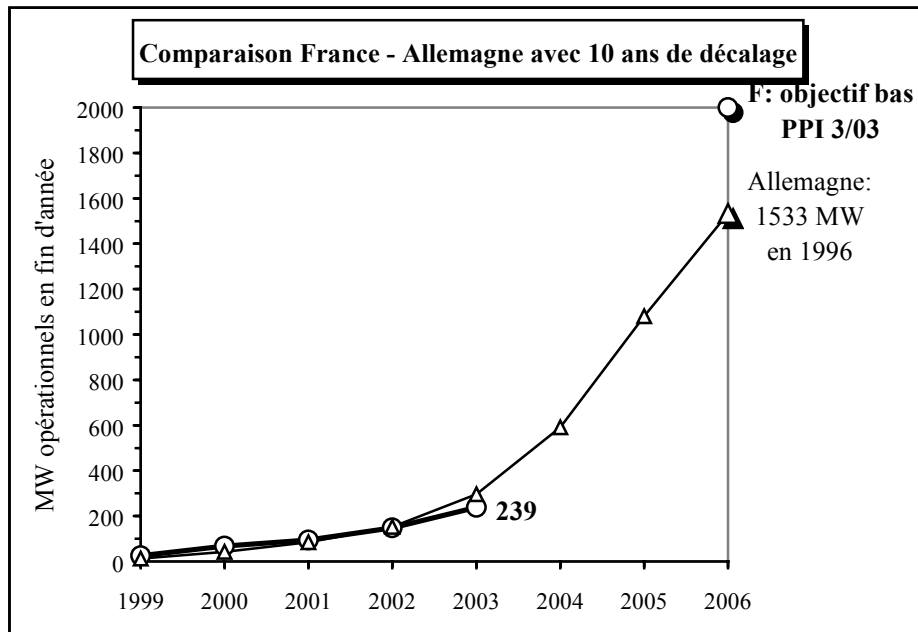
3.1) Comparaison historique avec l'Allemagne et par rapport aux objectifs de court terme

Depuis 2001 le développement de l'énergie éolienne en France est principalement basé sur la disponibilité de tarifs garantis pour les parcs bénéficiant de l'obligation d'achat, c'est à dire de moins de 12 MW, puisque les premiers appels d'offres pour des systèmes éoliens de plus grande puissance à terre ou en mer ne seront lancés qu'en 2004 pour mise en service industriel des installations avant la fin de l'année 2006. Ce système tarifaire est inspiré de celui défini depuis avril 2000 par la loi Allemande sur les énergies renouvelables. Mais l'ouverture du marché Allemand de l'énergie éolienne s'est fait dès le début de la décennie 90 par un premier système tarifaire qui a permis de lancer un premier programme fondateur "250 MW éoliens", exactement l'ordre de grandeur du parc français actuel.

Si l'on reporte avec 10 ans de décalage les courbes de développement de l'éolien en Allemagne et en France, on voit sur la figure 6 ci dessous que sur les 5 premières années ce développement est pratiquement identique. Au premier abord, on pourrait penser que la France est donc sur le même "sentier vertueux" de développement de l'éolien. Mais plusieurs observations mènent à tempérer cette conclusion :

- Ces dix ans de décalage auraient dû plus profiter aux développeurs de projets en France: machines éprouvées et de plus grande taille disponibles commercialement, retour d'expérience disponibles pour le montage des projets.
- Il en aurait dû être de même pour la levée des obstacles non tarifaires en France, notamment pour la simplification des procédures et pour la réduction des délais pour les autorisations de raccordement au réseau et la délivrance des permis de construire.
- Au vu du "passage à la vitesse supérieure" pris par le marché Allemand en 1993-1994 (correspondant aux années 2003-2004 sur la figure 6) et compte tenu de l'objectif minimal de 2 000 MW de parc éolien en service en fin 2006 fixé par la PPI [3] et reporté sur la figure, on voit que "l'accélération" de l'ouverture de marché en devrait être encore plus forte en France sur 2003-2006 qu'elle ne l'a été sur 1994-1996 en Allemagne, et ce d'autant plus que la limite supérieure fixée par la PPI a été fixée à 6 000 MW. On constate au contraire sur 2002-2003 un léger décrochement de la croissance du parc en France par rapport à l'historique 1992-1993 en Allemagne.

Figure 6: développement de l'énergie éolienne en France et avec 10 ans de décalage en Allemagne



La réalisation de l'objectif minimum de 2 000 MW en fin 2006 fixé par la PPI nécessite donc que le plus grand soin soit apporté à la disparition des obstacles non tarifaires à la réalisation des projets. Pour cela, le 10 septembre 2003 la Ministre de l'Ecologie et du Développement Durable, le Ministre de l'Equipement et la Ministre déléguée à l'Industrie ont adressé aux préfets de Région et de Département une lettre concernant le développement de l'énergie éolienne terrestre avec des instructions détaillées [4]. Le suivi de l'application de cette circulaire devrait donc permettre de vérifier ses effets ou de définir quelles mesures restent encore nécessaires pour permettre de dépasser ce seuil minimum de 2 000 MW en cumulant les projets bénéficiant de l'obligation d'achat et des tarifs et ceux issus des appels d'offres en cours de lancement et qui pourraient être mis en service avant fin 2006.

3.2) Perspectives de développement à plus long terme (2010-2020)

La France s'est engagée à réaliser les objectifs indicatifs qui lui ont été proposés dans le cadre de la directive Européenne concernant la production d'électricité par sources d'énergie renouvelables à l'horizon 2010. Compte tenu des contraintes pesant sur le développement des deux autres sources d'énergies renouvelables qui peuvent participer significativement à cet objectif (la biomasse en cogénération et la petite hydroélectricité), ceci passe par un développement de l'énergie éolienne situé typiquement entre les courbes en rouge et en bleu de la figure 7 ci-dessous. La courbe rouge en trait plein représente un "scénario minimum de développement" qui a été détaillé dans la référence [1]. La courbe bleue en pointillé établie elle aussi en début 2003 est représentative d'un développement idéal de l'éolien pour avoir des chances d'atteindre les objectifs de la directive en 2010. Ces deux courbes encadrent sur le court terme la valeur minimum de la PPI en fin 2006 soit 2 000 MW. A horizon 2010 elles conduisent à un parc opérationnel compris entre 7 700 et 11 400 MW.

Ces deux scénarios sont à replacer dans le cadre de la réévaluation des perspectives de développement de l'éolien à ces deux horizons. On a déjà cité la réévaluation faite en 2003 par l'EWEA de la taille probable du parc éolien des 15 pays de l'Union Européenne à 75 000 MW en 2010 (dont 10 000 en mer) au lieu des 60 000 MW évalués en 2000. L'évaluation déjà citée dans [2] d'un parc éolien Européen de 180 GW en 2020 (dont 70 GW en mer) et produisant 440 TWh/an à cet horizon a été reprise en janvier 2004 par le Conseil Européen des Energies renouvelables (EREC) dans son document de proposition d'officialisation d'un objectif de couverture par les énergies renouvelables de 20 % de la consommation d'énergie primaire des 15 pays actuels de l'Union Européenne en 2020 [5]. Le scénario correspondant est représenté par la courbe brune de la figure 8 ci après où sont aussi reportés les deux scénarios du développement de l'éolien en France cités ci dessus et extrapolés jusqu'en 2020.

Pour ce qui concerne les scénarios de développement mondial de l'éolien, deux d'entre eux sont reportés en fig. 8:

- Un scénario décrit dans la référence [6] et basé sur la comparaison historique du développement de l'hydroélectricité et de l'énergie éolienne, en prenant en compte une accélération de la diffusion de cette dernière filière sur notre siècle plus rapide que celle de l'hydroélectricité au XXème siècle et aboutissant à une production identique de ces deux filières sur le XXIème siècle à hauteur chacune de plus de 540 000 TWh cumulés (courbe intermédiaire en trait plein sur la figure 8).
- Le scénario "Wind Force 12" (12 % de couverture des besoins d'électricité mondiaux en 2020 par l'éolien) décrit dans la référence [7] (courbe supérieure en trait plein sur la figure 8).

Figure 7: scénarios de développement de l'énergie éolienne en France à l'horizon 2010

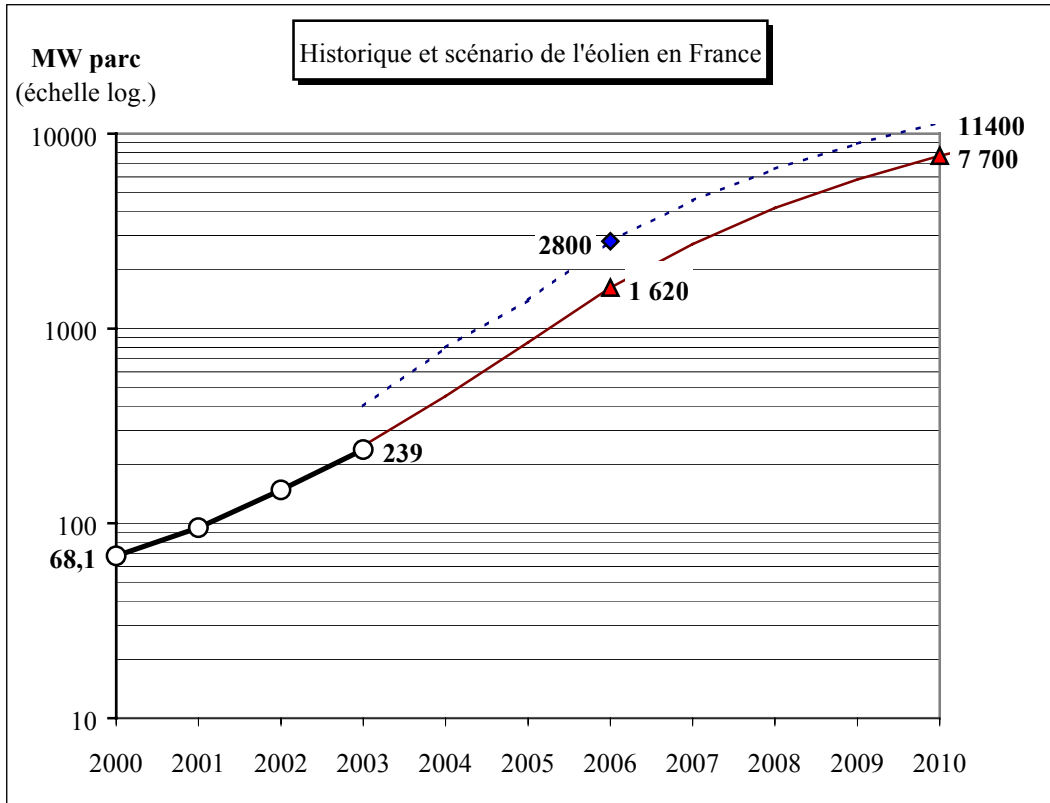
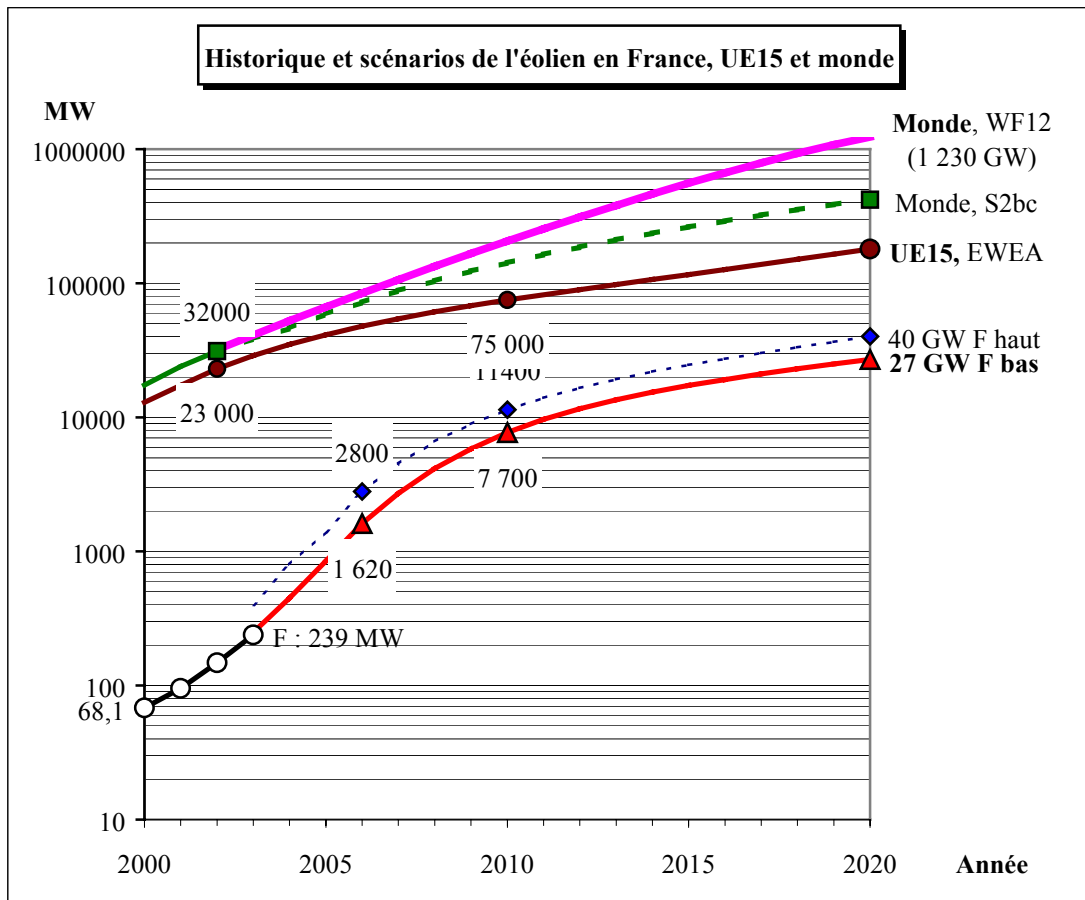


Figure 8: Scénarios de développement de l'éolien à horizon 2020 (France, UE15, Monde)



On retiendra principalement de cette analyse que le développement de l'énergie éolienne en Europe et dans le monde va continuer à être très rapide et qu'il est donc probable que son rythme de développement en France sera aussi

soutenu, non seulement d'ici 2010, mais aussi au-delà, car le contexte Européen de "l'après Kyoto" restera sans aucun doute une des motivations de son développement.

Malgré les scores respectables mais encore timides de l'industrie éolienne Française, il est aussi probable que les motivations de politiques industrielles et de création d'emplois joueront aussi pour pousser au développement de l'énergie éolienne en France. Ainsi, selon la référence [2] les investissements éoliens en Europe sont estimés à 46 GW de 2004 à 2010 répartis entre 36 GW à terre et 10 GW en mer. On peut donc estimer les investissements correspondants en machines et développement de parcs à environ 44 G€ d'investissements (40 à terre et 14 en mer). Les nouvelles installations éoliennes requises dans ce scénario et reprises en référence [5] sur la période 2011-2020 dans les 15 pays actuels de l'UE seront de 105 GW. Compte tenu de la montée en puissance de l'éolien en mer avec environ 60 GW installés sur la période et compte tenu de quelques 45 GW supplémentaires à terre, le montant correspondant des investissements éoliens sur cette période est estimé par l'EREC à environ 100 G€.

Au total ces quelques 144 G€ d'investissements éoliens sur les 17 ans séparant 2004 de 2020 représenteraient donc environ un tiers des 443 G€ d'investissements en énergie renouvelables que l'EREC estime nécessaires pour faire passer la part des énergies renouvelables à 20 % de la consommation d'énergie primaire des 15 pays actuels de l'Union Européenne en 2020, avec un sous objectif de 33 % des consommations d'électricité assurées à partir de sources d'énergie renouvelables à cet horizon.

Même si les décisions des instances Européennes et nationales à prendre d'ici 2010 ne seront pas forcément fondées exactement sur ce scénario, il est probable que ces ordres de grandeur resteront valables, et il est donc crucial que le développement à court terme de l'énergie éolienne en France reste en phase avec ces perspectives communautaires et mondiales.

Références:

[1] "Bilan et mise en perspective du développement de l'énergie éolienne en France", B. Chabot, ADEME, mai 2003. Document téléchargeable à : <http://www.suivi-eolien.com/francais/DocsPDF/EOLF02V3.PDF>

[2] "Wind Power Targets for Europe: 75 000 MW by 2010", EWEA, octobre 2003. Document téléchargeable à : <http://www.ewea.org/03publications/75MW.htm>

[3] "Arrêté du 7 mars 2003 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité", Journal officiel de la république Française, 18 mars 2003, p. 4692-4692.

[4] Lettre circulaire aux préfets du 10 septembre 2003 et ses annexes, téléchargeable à : http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/circ_eol_10_09_03.pdf

[5] "Renewable energy target for Europe: 20 by 2020", EREC, janvier 2004, document téléchargeable à : http://www.ewea.org/documents/EREC_Targets%202020_def.pdf

[6] "A Long Term Wind Power Prospect from Hydropower Retrospect and Prospect : Scenarios and Lessons", B. Chabot, actes de la conférence EWEA "Wind Power for the 21st Century", 25-27 septembre 2000, Kassel, Allemagne.

[7] "Wind Force 12: A Blueprint To Achieve 12% Of The World's Electricity From Wind Power By 2020", EWEA, GREENPEACE, document téléchargeable à : <http://www.ewea.org/documents/WindForce12.pdf>
