

Mai 2011

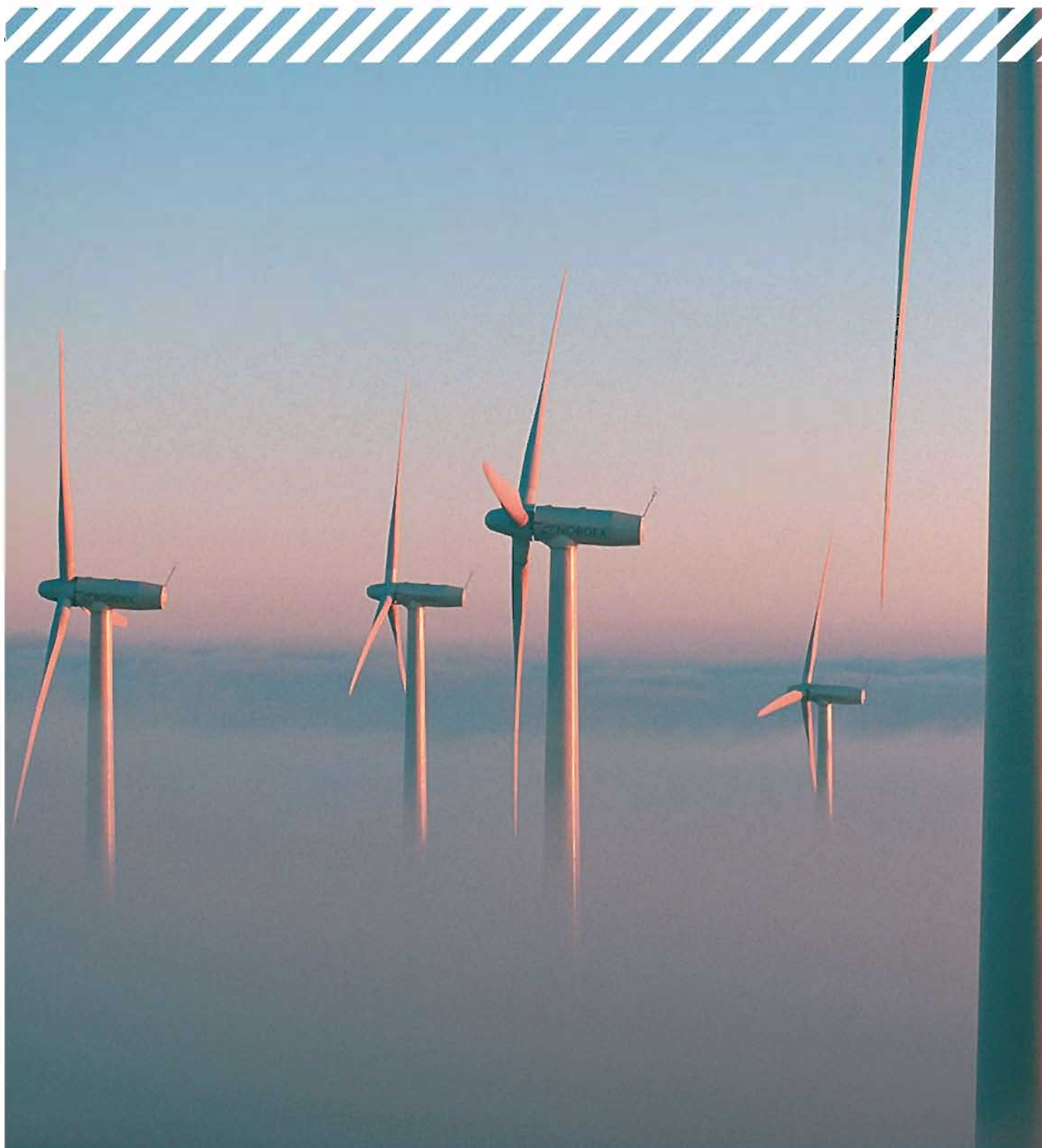
# Les industries des ENR en Île-de-France : quel potentiel de développement ?

## 2. L'industrie éolienne



INSTITUT  
D'AMÉNAGEMENT  
ET D'URBANISME

ÎLE-DE-FRANCE





# Les industries des ENR en Ile-de-France : Quel potentiel de développement ?

## 2- L'Industrie Eolienne

Mai 2011

---

IAU Île-de-France  
15, rue Falguière - 75740 Paris Cedex 15  
Tél. : 33 (1) 77 49 77 49 - Fax : +33 77 49 76 02  
<http://www.iau-idf.fr>

Directeur général : François DUGENY  
Département Economie et Développement Local : Anne-Marie ROMERA, Directrice  
Etude réalisée par : Thierry Petit  
Cartographie réalisée par : Pascale GUERY  
N° d'ordonnancement : 6.10.001  
Mise en page couverture : Vay Ollivier  
Crédit photo de couverture : EWEA/Winter



# Remerciements

- ADEME : M. **Vincent Guénard**, coordinateur éolien
- Alstom Ecotecnia : M. **Jean Michel Zarza**, Directeur France Alstom Ecotecnia, administrateur France Energie Eolienne
- Areva renouvelables : M. **Olivier Grammont**, responsable de projet,
- CAUE Aude : M. **Xavier Phan**, conseiller info énergie et chargé de mission petit éolien au pôle énergie11.
- Céleste énergies : MM **Amama et Dhaussy** fondateurs et dirigeants de Céleste énergies,
- CETIM : M.**Jean-Marc Uros**, Chargé de mission, délégué Ile-de-France
- Converteam : M. **Alain Guy**, Vice-Président en charge du business-unit Eolien,
- CSTB Nantes : M. **Xavier Faure**, ingénieur d'études et de recherche,
- DCNS : M. **Marc Boeuf**, chargé du développement des activités maritimes DCNS Brest, en charge des relations institutionnelles de l'incubateur dédié aux énergies marines renouvelables (IMR),
- EDF R&D : M. **David Wiszniewski**, ingénieur de recherche,
- Groupe EDF : M. **Etienne Brière**, Directeur de programme délégué environnement et énergies renouvelables, recherche et développement, M. **Frédéric Jouve**, groupe EDF, directeur technologie, division renouvelables.
- Eole technologies : M. **Porcher**, associé en charge du développement technique et commercial,
- GE energy : M. **Prevot**, responsable de marché ENR,
- IFP-EN : M. **Eric Heintzé**, Directeur de la direction Mécanique appliquée, en charge du groupe de travail n°5 de l'ANCRE sur les énergies marines, hydrauliques et éoliennes,
- Laboratoire l'océan, UPMC : Mme **Laurence Eymard**, Directrice,
- Olaer industries : M. **Gérard léger**, responsable commercial éolien,
- ONERA : M. **Marc Rapin**, Ingénieur d'études chargé de la mise en oeuvre d'outils aéroélastiques sur les rotors et les ailes d'avion département DADS,
- Pôle Advancity : MM.**Thibault Ségur** chargé de mission, **Olivier Haxaire** chargé de mission en charge de la mise en oeuvre du plan filière eco-activités,
- Pôle Astech : M. **Gérard Laruelle**, délégué général,
- Pôle éolien lorrain : M. **Daniel Ahuir**, chargé d'affaires,
- Saipem : M **Jacques Ruer**, directeur adjoint du développement des technologies,
- SER : Mme **Marion Lettry**, Déléguée générale adjointe, Responsable Eolien, Hydroélectricité, Energies marines
- Souffleries IAT, St Cyr : M. **Christophe Noger**, Ingénieur de recherche,
- Spie Fondations : M.**Touquet**, responsable du dpt. lignes et pieux en charge du dossier éolien,
- Technip : M. **Stéphane His**, Vice-Président biofuels & renewable energies,
- Wéole énergie : M. **Galligo**, Directeur et fondateur de Wéole énergie
- Win4future : M. **Emmanuel Schuddinck**, conseiller en développement industrie et énergie, Bourgogne développement, animateur du Cluster éolien bourguignon wind4future.

Je tiens particulièrement à remercier les membres du comité technique de cette étude qui ont apporté des informations précieuses et participé à sa relecture :

- **Anne-Laure Barbe**, Responsable du pôle développement durable des territoires, ARD-Paris Île-de-France
- **Julien Berthier**, Chargé de mission énergie, Conseil régional d'Ile de France, unité aménagement durable, direction environnement, service air énergie bruit
- **Xavier Desray**, Chargé d'études, Conseil régional d'Ile de France, unité développement
- **Catherine Gwett**, Chargée d'études, territoires emplois environnement IDF (TEE IDF)
- **Marie-Laure Falque-Masset**, Directrice énergie Climat, ARENE idf
- **Vincent Roumeas**, Chef de marché éco activités, ARD Paris-Île-de-France

# Table des matières

<b>Synthèse</b> .....	<b>7</b>
<b>Avant-propos</b> .....	<b>9</b>
- Introduction.....	9
- Le champ de l'étude.....	11
<b>1 – Définition / Présentation</b> .....	<b>13</b>
1.1 - Disponibilité de la ressource Eolienne en France et IDF .....	14
1.2 - Avantages et limites prêtés aux éoliennes .....	16
<b>2 - Les technologies éoliennes et la recherche</b> .....	<b>18</b>
2.1 - Principales technologies mises en œuvre .....	18
2.2 - Perspectives technologiques et technologies clés .....	19
2.3 - Eléments de comparaison internationale sur la recherche dans l'éolien.....	21
2.4 - La recherche sur l'éolien en France .....	22
<b>3 - Contexte économique : marchés actuel et potentiel</b> .....	<b>25</b>
3.1 - Les segments de marché .....	25
3.2 - Le marché du grand éolien dans le monde .....	27
3.3 - Le marché du grand éolien en Europe.....	28
3.4 - Le marché de l'éolien en France.....	31
3.4.1 - Au niveau national.....	31
3.4.2 –Les marchés régionaux .....	33
3.5 - Potentiel de croissance du marché.....	34
<b>4 - Les Acteurs de la filière et leurs stratégies</b> .....	<b>36</b>
4.1 - La chaîne de valeur dans l'industrie de l'éolien, revue du positionnement des acteurs ....	36
4.2 - La répartition des coûts au sein de la chaîne de valeur éolienne .....	40
4.2.1 - Le poids de la turbine au sein de la chaîne de valeur totale .....	40
4.2.2 - Répartition des coûts au sein de la turbine.....	41
4.3 - Parts de marché des principaux constructeurs mondiaux.....	43
4.4 - Les principaux acteurs industriels de l'éolien, éléments de stratégies en matière de localisation et d'investissements .....	44
4.5 - Géographie de l'industrie éolienne en France.....	48
4.6 - Structuration de la filière, Stratégie et jeux d'acteurs.....	49
<b>5 - Les emplois de l'éolien</b> .....	<b>51</b>
5.1 - Les emplois de l'éolien actuels et perspectives .....	51
5.2 - Les catégories d'emploi éolien et l'impact local .....	52
<b>6 – Quel potentiel pour l'IDF au regard de l'éolien ?</b> .....	<b>54</b>
6.1 - Acteurs industriels de l'éolien présents en IDF .....	54
6.2 - Acteurs de la recherche sur l'éolien présents en IDF.....	61
6.2.1 - La recherche privée active sur la thématique de l'éolien en IDF .....	63
6.2.2 - La recherche publique active sur la thématique de l'éolien en IDF .....	65

<b>7 - Revue d'actions nationales remarquables en faveur du développement de filières éoliennes</b> .....	<b>76</b>
7.1 - Le Danemark.....	76
7.2 - L'Espagne.....	77
7.3 - Le Canada.....	78
7.4 - Le petit éolien au Royaume-Uni.....	79
7.5 - Expériences régionales de structuration de la filière éolienne en France.....	81
7.5.1 - La Région Centre .....	81
7.5.2 - Le Pôle éolien Lorrain.....	82
7.5.3 - Le cluster éolien bourguignon.....	83
7.5.4 - Le petit éolien urbain dans le pays de l'Aude.....	85
7.5.5 - Autres clusters industriels éoliens français.....	87
7.5.6 – Les actions franciliennes en faveur de l'éolien.....	89
<b>8 - Développer une filière industrielle éolienne en Île-de-France : Atouts, opportunités, recommandations</b> .....	<b>91</b>
8.1 - Au niveau français des opportunités malgré un retard certain .....	91
8.2 - Atouts et faiblesses de l'éolien en IDF.....	94
8.3 - Opportunités et propositions d'actions.....	95
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>105</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>106</b>
Annexe 1 - Eléments bibliographiques.....	106
Annexe 2 - Sélection de sites internet.....	108
Annexe 3 – Géographie francilienne des acteurs de l'industrie éolienne (carte A3) .....	110



# Synthèse

Alors que les économies européennes et françaises sont confrontées à un phénomène de désindustrialisation qu'elles cherchent à enrayer, la forte croissance de la demande d'équipement dans le domaine des énergies renouvelables constitue une des voies vers un nouveau industriel.

L'industrie éolienne est en Europe et dans le monde une des industries liées aux énergies renouvelables qui a connu la plus forte croissance et a généré les plus fortes créations d'emploi.

## **Une industrie en forte croissance et pourvoyeuse d'emplois au niveau mondial**

On parle désormais de 500 000 emplois dans le monde en 2010.

Une étude européenne<sup>1</sup> indiquait pour 2007 un chiffre de 151 000 emplois en Europe dont l'essentiel était basé dans les pays ayant développé une industrie éolienne forte : Allemagne 87 000, Espagne 38 000, Danemark 23 000... pour 7 000 en France à cette même date.

La même étude indiquait que pour chaque MW de machine produite et installée 15,7 emplois étaient créés dont 12,5 pour la seule phase industrielle au moment de la construction de l'éolienne et de ses composants, contre 1,2 au moment de l'installation et 0,33 emplois liés à l'exploitation et la maintenance des éoliennes qui sont des emplois pérennes sur la durée de vie de l'éolienne (20 ans).

La phase industrielle est donc particulièrement génératrice d'emplois.

## **Un constat *a priori* négatif pour la France mais des atouts et des opportunités pour l'avenir**

Plusieurs études ont souligné le retard de l'industrie éolienne française au regard des pays les plus avancés dans ce domaine et ce malgré un marché national qui progresse fortement (en moyenne + 65% par an depuis 10 ans) et la place au 3<sup>e</sup> rang européen en 2010.

La France ne dispose en effet pas à l'heure actuelle de constructeur de grand éolien sur son sol ni d'une filière industrielle éolienne organisée.

Elle dispose néanmoins d'atouts pour défendre et conforter sa place de fournisseur de sous-ensembles auprès des constructeurs européens d'éoliennes avec plusieurs acteurs de premier plan.

Une opportunité se présente avec la volonté nationale affichée de soutenir la structuration d'une filière éolienne nationale, en s'appuyant sur l'éolien off-shore. Un des objectifs est de permettre la création de 50 000 nouveaux emplois dans l'éolien au terme de 2020 en plus des 11 000 existants en 2010.

A un horizon de 5 ans elle pourrait ainsi voir apparaître un ou deux champions nationaux dans le domaine de la construction d'éoliennes off-shore, domaine qui représentera près de 35% du marché européen en 2020 et 65% en 2030. Les technologies innovantes mises en œuvre dans ce nouveau domaine devraient favoriser un bouleversement de l'ordre établi observé actuellement dans l'éolien terrestre à l'avantage de la France qui maîtrise bien ces technologies.

## **L'Ile-de-France dispose d'atouts importants pour participer à une filière nationale avec :**

- De nombreux acteurs dont de possibles futurs leaders :

L'Ile-de-France dispose à cet égard d'atouts non négligeables sur l'ensemble des familles de l'éolien (terrestre ou off-shore) au regard de ceux des autres régions. Elle abrite de nombreux acteurs régionaux impliqués dans la filière, avec quelques fournisseurs d'envergure internationale, mais surtout plusieurs acteurs qui se sont positionnés sur l'appel à démonstrateur éolien off-shore lancé par l'ADEME (Technip, Saipem, EDF, IFP-EN...), avec pour ambition de figurer parmi les chefs de file de l'éolien français.

Au total ce sont plus de 110 établissements franciliens qui sont déjà actifs dans l'éolien dont 72 sont issus du secteur industriel : 14 constructeurs, 2 fournisseurs de mâts, 6 fournisseurs de générateurs,

---

<sup>1</sup> « Wind at work, wind energy and job creation in the EU », EWEA, janvier 2009, les chiffres par pays sont issus d'autres sources hétérogènes et donc non cumulables.

19 fournisseurs d'équipements électriques et électroniques, 17 fournisseurs d'équipements et pièces mécaniques, 3 fournisseurs de pales ou matériaux pour pales, 11 bureaux d'études industriels. Cependant seuls 15 d'entre eux ont une activité de production.

- D'importantes synergies avec des secteurs industriels stratégiques pour la région

L'industrie éolienne met en œuvre des technologies présentes dans plusieurs secteurs industriels stratégiques pour l'Ile-de-France (notamment l'automobile, l'aéronautique, la mécanique, l'énergie), ce qui constitue indéniablement un atout **et peut constituer un relais de croissance pour les acteurs de ces filières** dont certains sont en passe de s'y impliquer.

- Une recherche présente sur l'ensemble des thématiques clés avec plusieurs points forts

L'Ile-de-France dispose de capacités de recherche importantes qui portent sur des domaines essentiels pour l'éolien : mécanique, matériaux, mécanique des fluides, électro-technique, génération électrique, contrôle de puissance... avec en particulier de fortes compétences dans l'éolien off-shore, auxquelles il faut ajouter une forte spécificité qui réside dans une offre étoffée et variée de sites de test en souffleries. Au total 13 laboratoires ou organismes publics ainsi que 9 centres de recherche privés sont actifs dans l'éolien. La recherche privée affecte à l'éolien pas moins de 50 chercheurs en équivalent temps plein, et probablement 90 d'ici 1 ou 2 ans dont l'essentiel est impliqué dans la recherche sur l'éolien off-shore.

**Des pistes d'actions qui s'inspirent d'autres territoires**

Les exemples étrangers et régionaux montrent tout un éventail d'actions possibles dont une partie au moins pourrait être intégrée à une action francilienne en faveur de l'industrie éolienne :

- **Rendre visibles les acteurs franciliens de la filière**, communiquer sur leurs compétences, organiser des participations communes sur des salons, éventuellement créer un label régional sous lequel abriter cette communication...la présente étude ainsi que la création d'une branche francilienne de la FEE constituent des avancées dans ce sens.

- **Favoriser la structuration d'un réseau de fournisseurs régionaux** de la filière éolienne en s'appuyant sur les points forts de la région en matière de mécanique, mécatronique, électro technique, gestion de l'énergie...en coopération et complémentarité avec d'autres clusters français existants, renforcer leurs coopérations par une structure chargée de l'animation de la filière et qui proposerait des moments de rencontres autour de thématiques diverses...L'action du CETIM pour les PME de la mécanique souhaitant s'impliquer dans l'éolien est un signe positif.

- **Organiser la recherche en l'incitant à se concentrer sur quelques thématiques clés**, développer un ou plusieurs sites de tests, en s'appuyant notamment sur l'offre nombreuse et variée de structures de test en soufflerie. La présence des principaux acteurs des consortiums industriels se positionnant sur l'éolien off-shore peut constituer un point d'appui.

- **Permettre le développement d'un marché régional** en favorisant notamment l'implication locale des populations, des associations et des collectivités locales, ce qui aiderait au renforcement de l'acceptabilité sociale des éoliennes.

- Une cinquième et dernière action porterait spécifiquement sur **le petit éolien urbain** qui en est à ses balbutiements et offre de grandes opportunités si tant est que l'on puisse lever les obstacles qui empêchent son développement et rendent son avenir encore très hypothétique. En plus d'un accompagnement des constructeurs franciliens de petites éoliennes, la mise en place de sites de test spécifiques pour l'éolien urbain, le lancement d'expérimentations grandeur nature sur un ou plusieurs sites pilotes comme des éco-quartiers, voire la proposition d'un IEED<sup>2</sup> sur le petit éolien urbain qui n'existe à ce jour pas en France, pourrait figurer parmi un train de mesures spécifiques au petit éolien.

Toutes ces actions pourraient contribuer à faire de l'éolien un des futurs piliers du nouveau industriel régional et de sa plus forte implication dans le développement durable.

---

<sup>2</sup> Institut d'excellence en matière d'énergies décarbonées, « plate-forme interdisciplinaire dans le domaine des énergies décarbonées, rassemblant les compétences de l'industrie et de la recherche publique dans une logique de co-investissement public-privé et de collaboration étroite entre tous les acteurs ».

# Avant-propos

## Introduction

Dans un contexte de confrontation à la plus grave crise environnementale prévisible de son histoire et dans lequel les enjeux énergétiques seront un des sujets majeurs de friction internationale du fait de la raréfaction attendue des ressources fossiles sur lesquelles s'est construit notre développement depuis près de deux siècles, la nécessité de mettre en œuvre des technologies énergétiques nouvelles et propres est devenue impérieuse. Dans un souci de développement durable, la mise en œuvre de solutions renouvelables en complément des autres solutions existantes n'est plus à prouver. De plus, à l'urgence climatique qui impose des changements en profondeur de notre mode de développement, s'ajoute un contexte plus conjoncturel d'après crise face auquel le potentiel économique et de gisement d'emplois que représentent les ENR n'est pas à négliger. C'est ce qu'ont bien saisi à la fois les entreprises qui y voient un relais de croissance et les pouvoirs publics qui souhaitent voir dans le développement de ces énergies une des clés de la sortie de crise et de la future croissance.

En 1997 avec le protocole de Kyoto, le monde prenait officiellement conscience de cette nécessité. Cette conscience s'est à présent étendue à la majorité des pays du monde qui développent à leur niveau des politiques spécifiques visant à réduire leur contribution à l'effet de serre et aussi à tenter de bénéficier de la manne économique que ce vaste marché représente, dans ce qui sera vraisemblablement analysé plus tard comme la troisième révolution énergétique après le charbon et le pétrole.

La France n'échappe pas à ce mouvement et s'est donné des moyens pour parvenir à cet objectif, notamment avec l'initiative du Grenelle Environnement. Au niveau local, les collectivités se sont elles aussi saisies de cette question à l'image de l'Île-de-France qui a lancé une série d'actions et de plans spécifiquement destinés au développement des ENR.

C'est dans ce contexte que se place cette étude dont l'ambition est de permettre à l'Île-de-France de bénéficier plus fortement des retombées économiques de son engagement en faveur du développement des ENR. Notre objectif est d'analyser la possibilité pour l'Île-de-France de développer et renforcer une ou plusieurs filières régionales incluant la composante industrielle sur cette thématique des énergies nouvelles et renouvelables.

Nous avons pris le parti de nous focaliser sur la partie amont de la filière à savoir la recherche et développement et la production de tout ou partie des équipements servant à générer de l'énergie à partir de ressources renouvelables. Cette partie de la filière, qui est la plus concurrentielle, est la plus à même de permettre de fournir un relais de croissance pour des territoires à vocation industrielle, de contribuer à renforcer l'excellence technologique de l'Île-de-France, d'offrir des emplois de tous niveaux, notamment à destination de la population ouvrière, et de contribuer à la diversité économique francilienne. Ceci permettra enfin de renforcer la place de l'industrie dans notre région en misant sur les synergies importantes existant ou pouvant exister avec d'autres industries localement très présentes.

Ce parti pris répond notamment aux attentes du Schéma Régional de Développement Economique mis en place en 2005 et réaffirmé dans la Stratégie régionale de développement économique et de l'innovation (SRDEI) en cours d'élaboration, sur la nécessité du maintien d'une économie régionale diversifiée qui entretienne en les faisant évoluer ses capacités industrielles.

Pour atteindre notre objectif nous nous proposons d'identifier les potentiels régionaux existants en matière d'énergies renouvelables. Il s'agira pour chacune des grandes familles d'énergies nouvelles et renouvelables (ENR) d'identifier les acteurs présents en Île-de-France tant dans le domaine industriel que de la recherche, d'identifier les potentialités de l'Île-de-France au regard des technologies émergentes et du marché et d'en dégager les points forts et les points faibles de la région.

Les grandes familles des ENR sont :

- Le solaire : thermique et photovoltaïque
- L'éolien : grand éolien, petit éolien, off-shore
- La biomasse : solide (bois, paille, déchets), liquide (agrocarburants), gaz (biogaz)
- Les énergies de la terre : géothermie de basse température et pompes à chaleur
- L'hydraulique : hydroélectricité, marées, houle
- Les nouvelles énergies : l'hydrogène et les piles à combustible

A ces 6 familles il faut ajouter les technologies transversales intéressant l'ensemble de ces familles d'énergie :

- L'accumulation d'énergie
- La gestion de réseaux décentralisés et virtuels ou réseaux intelligents

Inauguré en 2010, un cycle d'études thématiques portant sur tout ou partie de chaque famille d'ENR cherchera à identifier les potentiels de notre région, à mettre en lumière les freins existants au développement de ces industries en Île-de-France et de proposer des actions à mener pour les développer, en s'appuyant sur les informations recueillies lors d'audition des principaux acteurs de la filière et en s'inspirant d'actions menées par d'autres territoires européens.

Un premier volet de l'étude paru en juin 2010 portait sur l'industrie solaire photovoltaïque, la présente étude constitue le second volet et porte sur l'industrie éolienne.

Après avoir précisé le champ de l'étude, un premier chapitre proposera une définition et une présentation de l'industrie éolienne avec un regard sur la disponibilité de la ressource au niveau international et régional, ainsi qu'une revue des avantages et inconvénients prêtés à cette technologie. Un second chapitre passera en revue les technologies actuellement à l'œuvre et futures, avec un regard sur l'état de la recherche.

Un troisième chapitre portera sur l'analyse du marché tandis que le chapitre suivant traitera des acteurs de la filière et de leurs stratégies en termes de localisation de leur production, de structuration de la filière et de principes d'investissements directs à l'étranger. Un cinquième chapitre donnera un aperçu du volume d'emploi généré par l'activité éolienne en particulier l'industrie.

A partir de ces éléments, le sixième chapitre estimera le potentiel de Île-de-France concernant l'industrie éolienne au regard de la présence des acteurs industriels ou de la recherche, avec un zoom sur les acteurs ayant des compétences spécifiques dans le domaine de l'éolien off-shore et du petit éolien.

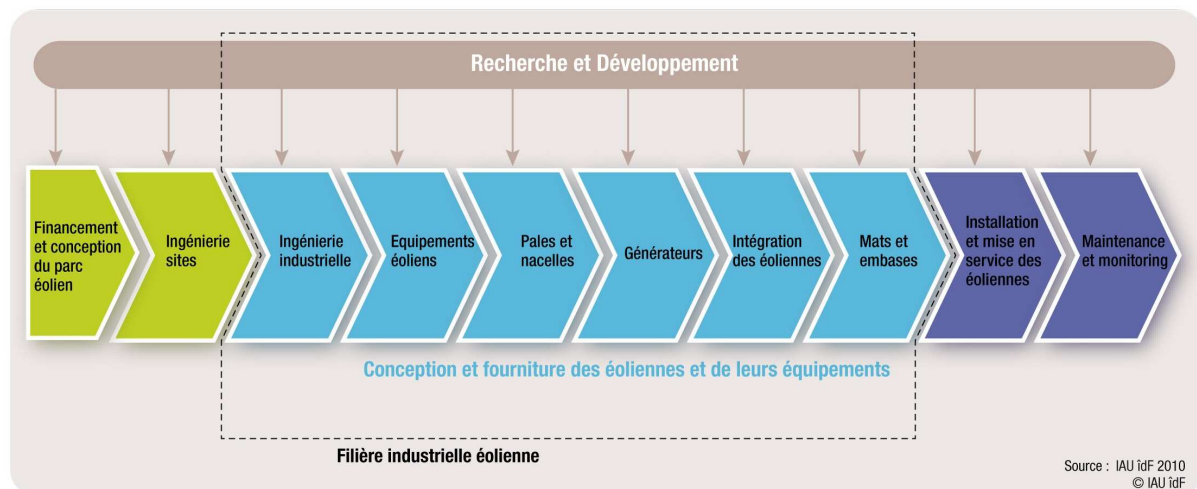
Un benchmark international et national des actions publiques visant à encourager le marché et les filières industrielles permettra d'alimenter notre réflexion sur l'opportunité de développer une filière éolienne à composante industrielle en Île-de-France et les moyens d'y parvenir. Après une analyse de type SWOT (forces faiblesses, atouts menaces) le huitième et dernier chapitre proposera quelques recommandations et pistes d'actions qui pourraient favoriser le développement d'une filière à composante industrielle au sein de la région Île-de-France.

## Le champ de l'étude

Comme nous l'avons indiqué en introduction, notre champ d'analyse couvre l'ensemble des activités de la filière ayant un lien avec la production manufacturière de tout ou partie d'équipements des éoliennes.

Compte-tenu de la technologie actuelle et de la structuration de la filière (voir en détail l'analyse de la chaîne de valeur en partie 4, p 36), les composantes de la filière incluent les activités d'ingénierie industrielle, les activités de conception et de fourniture des différents équipements d'une éolienne (mécaniques, électriques, électroniques), des pales et nacelles, des mâts et embases, ainsi que la conception des aérogénérateurs dans leur ensemble et leur intégration.

Schéma de la chaîne de valeur éolienne



Enfin bien que nous les ayons recensés dans notre évaluation de la filière francilienne, nous avons volontairement laissé de côté l'analyse de l'amont de la filière (ici en vert) ainsi que l'aval (ici en violet) qui comprend l'installation et l'intégration au réseau de ces équipements ainsi que la maintenance et le monitoring et qui constitue aussi un gisement d'emplois non négligeables d'autant qu'ils seront pérennes tout au long de la durée d'exploitation des équipements soit de 20 à 30 ans.

On compte deux catégories dans l'éolien : le grand éolien et le petit éolien

**Le grand Eolien** concerne des machines de plus de 36 kW mais l'essentiel du marché porte sur des puissances de 1 à 3 MW avec des machines atteignant jusqu'à 6MW. En 2008 la puissance moyenne des éoliennes installées était de 2MW par machine. Le grand éolien est essentiellement développé sous forme de parcs ou fermes pour produire de l'électricité injectée sur le réseau. Ces éoliennes sont installées sur terre (On-shore) ou en mer (Off-shore).

**Le Petit éolien** (100 watt à 36 kW) concerne des unités isolées soit en champ pour des besoins spécifiques (pompage) soit chez des particuliers pour des applications électriques. Ce dernier n'est encore qu'à un stade balbutiant mais promis à un fort développement. Selon l'Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies IDF (ARENE), le petit éolien urbain est « une filière encore à l'état de recherche-développement, une application économiquement viable pour les particuliers mais peu de références et de retour d'expériences existent et des contraintes techniques et économiques, et des incertitudes réglementaires persistent. ».

Cette seconde catégorie étant encore très peu développée en France nous ne l'aborderons que de manière superficielle dans cette étude qui se focalisera principalement sur le grand éolien.



# 1- Définition / Présentation

Une éolienne permet de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. Elle se compose des éléments suivants :

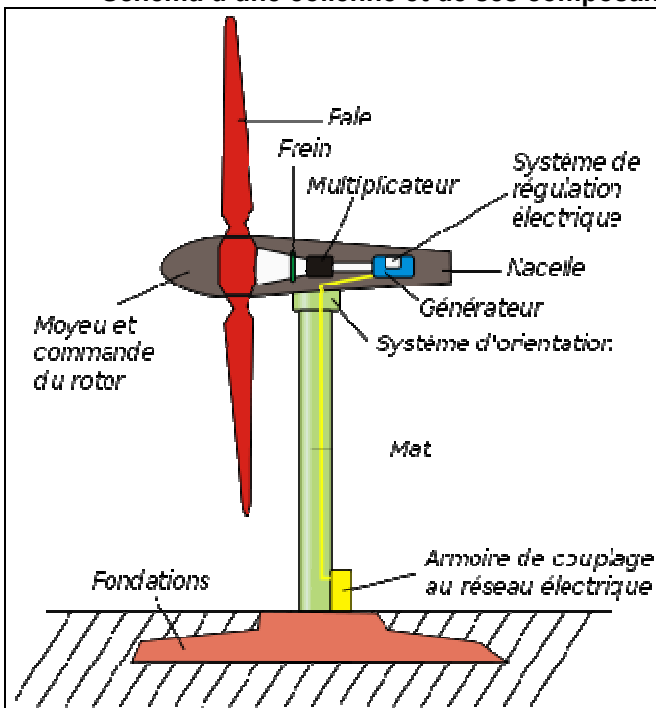
-Un mât, qui permet de placer les pales à une hauteur suffisante pour permettre son mouvement (nécessaire pour les éoliennes à axe horizontal). La grande hauteur permet aussi de capter un vent plus fort et régulier qu'au niveau du sol. Le mât abrite généralement une partie des composants électriques et électroniques (modulateur, commande, multiplicateur, générateur, etc.).

-Un rotor, composé de plusieurs pales (en général trois) et du nez de l'éolienne. Le rotor est entraîné par l'énergie du vent qui fait tourner les pales. Il peut être couplé directement ou indirectement à une pompe (cas des éoliennes de pompage) ou plus généralement à un générateur électrique. Le rotor est relié à la nacelle par le moyeu.

-Une nacelle montée au sommet du mât, abritant les composants mécaniques, pneumatiques, certains composants électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de la machine.

-Dans le cas des éoliennes produisant de l'électricité, un poste de livraison situé à proximité du parc éolien permet de relier ce parc au réseau électrique pour y injecter l'intégralité de l'énergie produite.

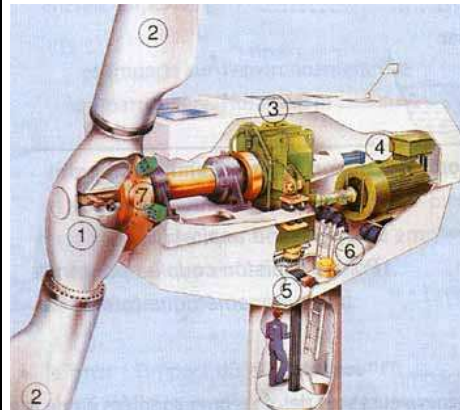
## Schéma d'une éolienne et de ses composants



Source : wikimedia.org

## Composants d'une éolienne modèle de chez WindMaster:

- 1 : rotor
- 2 : pales
- 3 : multiplicateur
- 4 : génératrice
- 5 : mécanisme d'orientation de la nacelle
- 6 : système hydraulique
- 7 : frein



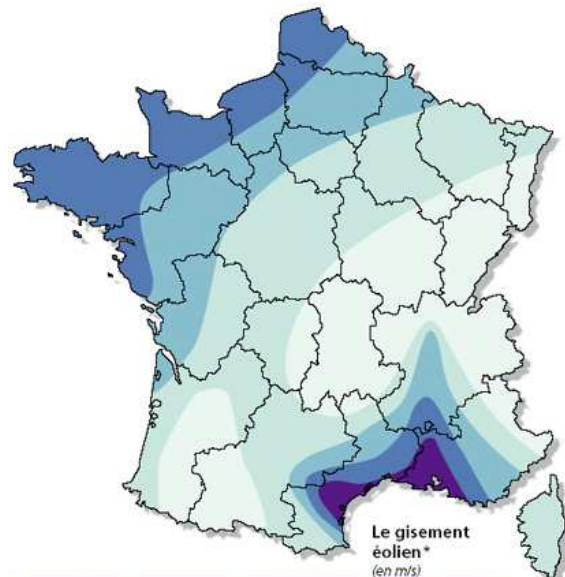
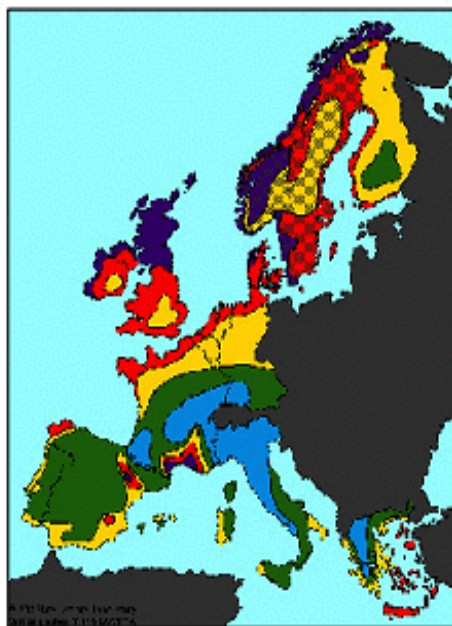
Source : ADEME

La vitesse de vent minimale est variable suivant la taille de l'éolienne, les modèles actuellement commercialisés fonctionnent avec des vents de 11 à 90km/h. Cependant de nouveaux modèles actuellement à l'étude offriront une possibilité de fonctionnement sur une gamme de vitesse de vent élargie de 4 km/h à 200km/h, ce qui renforcera sa disponibilité et donc sa productivité.

## 1.1-Disponibilité de la ressource Eolienne en France et Ile-de-France

En France<sup>3</sup>, le potentiel éolien est très important (le 2<sup>e</sup> d'Europe) : 20 GW terrestres pour une production de 50 TWh par an, et 40 GW off-shore pour une production de 150 TWh par an, soit un potentiel éolien théoriquement exploitable de 200 TWh par an. S'il était disponible en 2040, il représenterait alors 31 % de la consommation française prévisible d'électricité. Cette production de 200 TWh/an se répartirait ainsi : 8 000 éoliennes off-shore de 5 MW sur 40 grandes centrales installées entre 15 et 40 km de la côte, à des profondeurs maximales d'eau de 200 m (dans le cas de l'éolien flottant) ; 8 000 éoliennes terrestres de 3 MW, soit moins du quart du nombre de pylônes très haute tension (400 kV) installés en France (qui mesurent 50 à 55 m de haut - et jusqu'à 100 m dans les zones vallonnées, contre 70 à 100 m pour les mâts des grandes éoliennes).

Les cartes européennes et françaises montrent sans surprise que ce sont les zones côtières qui apparaissent comme les plus favorables, avec pour le cas de la France des vents oscillant entre plus de 6m/s dans les conditions de terrain les plus défavorables (bocages) à plus de 11,5m/s dans les conditions optimales en sommet de collines. En France, la zone méditerranéenne a un potentiel comparable en intensité à celui de l'Ecosse, de l'Irlande et de la partie ouest des pays scandinaves (Norvège, Danemark, Suède). Elle est classée en zone la plus favorable (5 et 4 à l'échelle française), tandis que la façade Atlantique nord-ouest est classée en zone 4 mais sur une surface bien plus large, avec un vaste hinterland classé en zone 3.



Le gisement éolien\* (en m/s)

Bocage dense, bois, banlieue	Rase campagne, obstacles éparés	Prairies plates, quelques buissons	Lacs, mer	Crêtes** collines	
<3,5	<4,5	<5,0	<5,5	<7,0	Zone 1
3,5 - 4,5	4,5 - 5,5	5,0 - 6,0	5,5 - 7,0	7,0 - 8,5	Zone 2
4,5 - 5,0	5,5 - 6,5	6,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,5 - 10,0	Zone 3
5,0 - 6,0	6,5 - 7,5	7,0 - 8,5	8,0 - 9,0	10,0 - 11,5	Zone 4
>6,0	>7,5	>8,5	>9,0	>11,5	Zone 5

\* Vitesse du vent à 50 mètres au-dessus du sol en fonction de la topographie.  
 \*\* Les zones montagneuses nécessitent une étude de gisement spécifique.

Source : ADEME

Source : ADEME

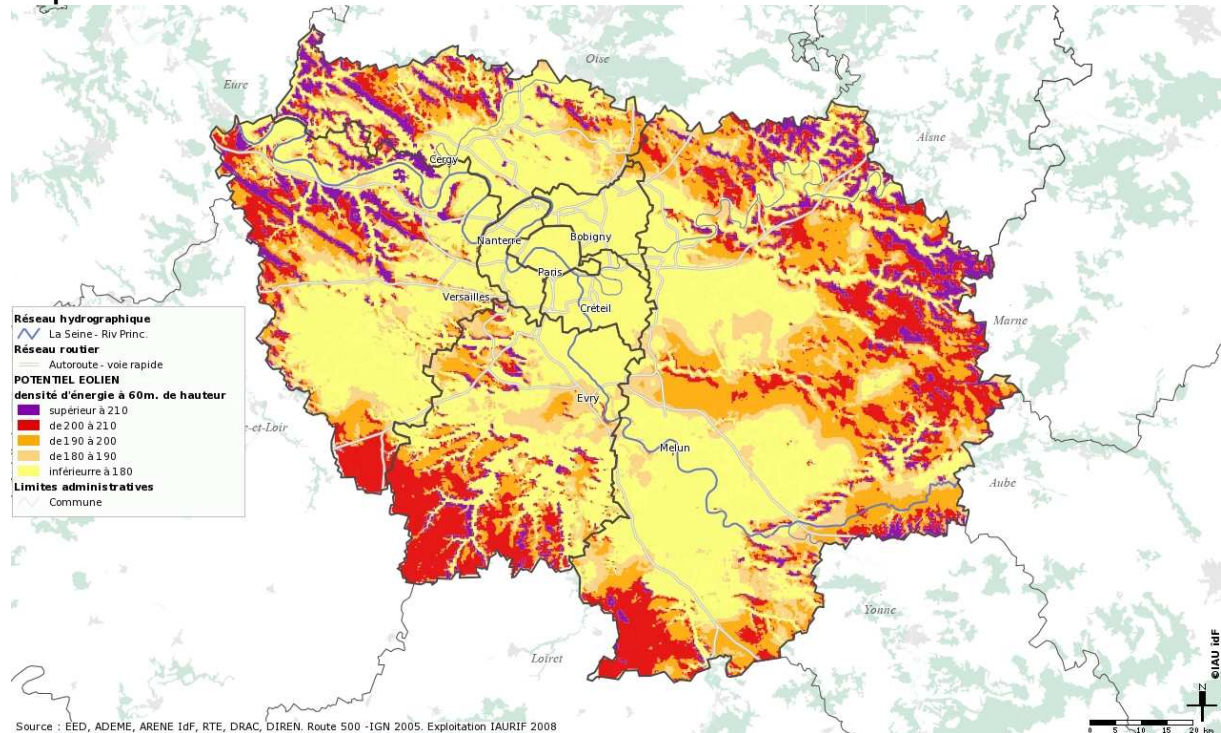
Le potentiel éolien francilien est sous influence océanique et se situe dans la moyenne européenne. Il se classe dans sa partie ouest en zone 3 à l'échelle française (avec suivant la configuration du terrain des vitesses de vent de 4,5 à 10 m/s) et en zone 2 dans sa partie est (avec suivant la configuration du terrain des vitesses de vent de 3,5 à 8,5 m/s).

3 Source Wikipédia, l'encyclopédie en ligne.



Une analyse plus fine du potentiel éolien francilien menée en 2008 par l'IAU-idf, en partenariat avec différents partenaires dont l'ADEME, l'ARENE-IDF et RTE, montrait que les plus grosses densités d'énergie à 60m du sol se situent d'une manière générale sur les plateaux, en particulier autour du bassin aval de la Seine, sur un large éventail est et nord-est du département de Seine et Marne, ainsi qu'au sud de l'Essonne et de la Seine et Marne, dans des zones au caractère rural marqué.

### Disponibilité de la ressource éolienne en Ile-de-France



## 1.2-Avantages et limites prêtés aux éoliennes

### Avantages

- Il s'agit d'une forme d'énergie indéfiniment durable et propre dont l'utilisation par une personne ne prive pas les autres de la ressource.
- Elle ne crée pas de gaz à effet de serre en cours de fonctionnement mais bien sûr génère des consommations de matière (qui peuvent être importants) en cours de production et d'installation (armature fer, béton...).
- Selon EDF<sup>4</sup>, « [...] l'énergie éolienne se révèle une excellente ressource d'appoint d'autres énergies, notamment durant les pics de consommation, en hiver par exemple. »
- Les propriétaires fonciers reçoivent souvent un paiement pour l'utilisation de leur terrain, ce qui augmente leur revenu ainsi que la valeur du terrain. (les loyers varient aujourd'hui entre 1 500 et 2 000 € par MW). Ceci peut aider des exploitants agricoles à pérenniser leur activité et donc contribuer à garder une vocation agricole à des terres soumises à la pression urbaine.
- A travers l'impôt forfaitaire destiné à remplacer la suppression de la taxe professionnelle, les éoliennes permettent de participer au développement local avec une contribution annuelle de l'ordre de 3 000€ par MWh (ce chiffre peut varier en fonction des communautés de communes concernées). Cependant les communes estiment que cet impôt ne compense pas la taxe professionnelle qui rapportait de l'ordre de 10 000 € par MWh et risque de freiner le développement de projets d'installations dans un contexte de moindre acceptation sociale.

### Limites

Parmi les principales critiques adressées aux éoliennes on compte :

- Le vent est une ressource intermittente. Ainsi les éoliennes nécessitent d'être couplées à des systèmes de stockage d'énergie lorsqu'elles sont utilisées en site isolé. Lorsqu'elles sont raccordées au réseau leur apport peut ne pas correspondre à l'état de la demande, il en résulte un manque à gagner pour l'exploitant en cas de surproduction, dans ce cas aussi un système de stockage de l'énergie permet d'optimiser l'utilisation des éoliennes. A noter que ce système de stockage peut prendre des formes très variables (pompage d'eau de l'aval d'un barrage vers l'amont, production d'air comprimé qui alimentera une turbine destinée à générer de l'électricité, stockage de l'électricité dans des batteries, production d'hydrogène par hydrolyse...). Au niveau national, le caractère intermittent de la ressource éolienne est atténué par une implantation répartie entre zones soumises à des régimes de vents différents qui peuvent se compléter. D'autres options sont possibles comme par exemple un couplage PV/éolien.
- Le bruit : Les éoliennes font en France l'objet de la réglementation la plus sévère d'Europe concernant la distance des éoliennes aux zones habitées et le surcroît de bruit qu'elles occasionnent par rapport à leur milieu ambiant, aussi appelé l'émergence sonore. Le bruit d'une éolienne est d'environ 55db au pied de leur mât soit l'équivalent du bruit généré dans un bureau. D'ailleurs le dernier sondage de l'ADEME au sujet de l'acceptabilité sociale des ENR en France indique pour l'éolien un taux de 54% de répondants se disant prêts à accueillir un parc éolien à moins de 1km de chez lui.
- Impact pour l'avifaune : Selon Wikipedia, qui cite différentes études, si il y a bien surmortalité pour les oiseaux due aux éoliennes, celle-ci est cependant négligeable au regard de la mortalité par accidents de la route (rapport de 1 pour 10 millions). Il est avéré que certaines espèces sont perturbées dans leur nidification par la présence d'éoliennes. Par contre il semble que les éoliennes soient plus particulièrement fatales aux chauves-souris dont le système d'orientation est perturbé par la rotation des pales. A ce titre le bureau d'études Biotope a récemment été primé pour la mise au point d'un système nommé *Chirotech* permettant l'arrêt des machines pendant les périodes de forte activité des chauves-souris sans nuire à la production, avec pour résultat des baisses de mortalité de 54% à 74%.

---

<sup>4</sup> [http://fr.wikipedia.org/wiki/Eolienne\\_-\\_note-6](http://fr.wikipedia.org/wiki/Eolienne_-_note-6)

- Les fermes éoliennes ont besoin de vastes espaces pour permettre le fonctionnement optimal des aérogénérateurs. Cependant l'espace réellement occupé au sol est faible. Lorsque de grands parcs d'éoliennes sont installés sur des terres agricoles, seulement 2 % du sol environ est requis pour les éoliennes. La surface restante est disponible pour l'exploitation agricole, l'élevage et d'autres utilisations.
- Contrainte réglementaire de l'impact sur le paysage : Parmi les principaux reproches faits aux éoliennes, l'esthétique figure en bonne place par ses détracteurs. Avec des hauteurs qui peuvent atteindre 60m, l'éolienne est visible de loin. En France, la réglementation proscriit les installations en crête pour réduire l'impact visuel. Cependant, l'augmentation de la taille et de la puissance moyenne des éoliennes a pour corollaire une moins forte densité d'éoliennes que dans les premiers parcs. Ce facteur est non négligeable comme en témoignent les polémiques sur ce sujet aussi bien en France qu'en Italie par exemple.
- Gêne pour circulation aérienne : Les parcs éoliens constituent un obstacle physique ainsi qu'une barrière électronique pour les appareils de navigation, leur implantation doit de ce fait être conforme aux besoins de circulation aérienne, ce qui constitue une contrainte forte, notamment en Île-de-France pour des sites situés dans les axes d'approche et de décollage des grands aéroports ainsi que des aérodrome militaires. EADS Astrium ainsi que l'ONERA travaillent à la réduction de cette signature radar.
- Effet dépréciatif sur la valeur des biens immobiliers : Selon certaines associations, l'effet dépréciatif des éoliennes sur le prix de l'immobilier serait de l'ordre de 20%. Wikipédia souligne qu'il existe peu d'études sur le sujet et que les quelques études sur cette question ne fournissent pas de preuve allant dans ce sens.
- Problèmes de recyclabilité de certains composants des éoliennes notamment les composites entrant dans la composition des pales et des nacelles. Ces matériaux sont pour le moment incinérés en fin de vie et leurs résidus stockés par enfouissement. Des recherches sont en cours pour permettre un recyclage pour ces matériaux<sup>5</sup>. Il n'en demeure pas moins que par rapport à d'autres énergies, le taux de recyclage d'une éolienne est plutôt élevé.



Photo : Thierry Petit

Une éolienne ne constitue pas un obstacle à l'exploitation des sols qui l'environnent pour des fins agricoles, elle représente même une source supplémentaire de revenus pour le propriétaire du terrain.

---

<sup>5</sup> Source : « ces techno vertes difficiles à recycler », l'Usine nouvelle 9 septembre 2010.

## 2-Les technologies éoliennes et la recherche

### 2.1-Principales technologies mises en œuvre

La technologie éolienne est très ancienne, cependant on a vu en introduction de l'étude quelle était en fait la complexité d'une éolienne qui doit de plus faire preuve d'une grande robustesse. On peut considérer qu'elle a atteint une certaine maturité puisqu'elle se diffuse désormais sur l'ensemble du territoire. Les perspectives d'installations dans des environnements de plus en plus hostiles, l'intégration du petit éolien à un milieu urbain et la nécessité d'améliorer leurs rendements constituent de nouveaux horizons pour la recherche.

L'architecture des éoliennes et les défis technologiques que sont appelés à relever les industriels concernent de nombreux domaines scientifiques technologiques ainsi que différents secteurs d'activités :

#### -Disciplines scientifiques concernées

Matériaux, sciences des milieux naturels (terre, océans, atmosphère), énergétique, mécanique des fluides, mécanique, génie des matériaux, génie civil, électronique.

#### -Compétences technologiques mises en oeuvre

Composants électriques, matériaux, métallurgie, moteurs, pompes, turbines, composants mécaniques, métrologie

#### -Domaines d'applications :

Industries mécaniques, Industries des équipements électriques et électroniques, Production et distribution d'électricité de gaz et de chaleur, Travaux publics

#### Les liens avec les autres technologies :

Contrôle commande de la puissance et des réseaux



Photo : Thierry Petit

Parmi les composants de la turbine, le mât qui atteint couramment des hauteurs de l'ordre de 80m est majoritairement composé de métal. Seules quelques entreprises de la métallurgie possèdent les compétences technologiques nécessaires pour les produire.

## 2.2-Perspectives technologiques et technologies clés

Grâce à une baisse régulière des coûts de production de l'électricité, l'éolien est une des seules énergies renouvelables à être capable dans certaines zones de produire une électricité à un coût inférieur à celui du réseau. Il n'en demeure pas moins nécessaire pour cette industrie de poursuivre cette politique de réduction de coûts car l'exploitation de nouveaux gisements plus difficiles d'accès (notamment off-shore) ont tendance à tirer à nouveau à la hausse les coûts de production de l'électricité éolienne et de nuire à sa compétitivité par rapport à d'autres énergies. Cette réduction des coûts passe principalement par celle de l'aérogénérateur qui à lui seul représente de 65% à 80% du coût d'un projet de parc éolien. Les autres éléments de coût étant la connexion au réseau, l'électricité sur le site, l'ingénierie du site, les coûts financiers et juridiques<sup>6</sup>.

La principale piste de baisse de coûts de production de l'énergie passe donc par celle des aérogénérateurs et s'opère en tout premier lieu par une **augmentation de la puissance unitaire** des éoliennes. Compte tenu des technologies actuelles cette augmentation de la puissance unitaire a pour corollaire une augmentation de la taille et du poids, avec à la clé de plus fortes contraintes mécaniques et aérodynamiques pour les sous-ensembles et matériaux.

L'EUREC<sup>7</sup> estime que le coût des turbines baisse de 3 à 5% à chaque nouvelle génération. Selon l'EWEA<sup>7</sup>, le coût du kWh produit était de 8,8 c€ au milieu des années 80 pour une turbine de 95 kW, il était de 4,1 c€ pour une turbine de 1 MW de 2005, et devrait se situer à 3,1 c€/kWh fin 2010 pour les turbines de dernière génération (2,2MW), soit une baisse de 25% en 5 ans.

La projection à 2020 de l'EWEA prévoit un coût de l'éolien ramené à 2,45 c€/kWh, ce qui correspond à une baisse de 19% en 10 ans.

### Evolution du coût de production d'un kWh

Période	Puissance unitaire de l'aérogénérateur (MW)	Coût du kWh produit (en Cts d'€)	Evolution du coût par rapport à la période précédente
Années 80	0,1 MW	8,8	
2004/2005	1	4,1	-46,5%
2010	2,1	3,1	-24,3%
2020 est.	>5	2,5	-19,3%

Source : EWEA

Cependant, comme on l'a vu précédemment, les développements de l'éolien maritime (off-shore) peuvent contrebalancer ces évolutions à la baisse du coût du kWh produit. En effet, le milieu maritime rend l'installation (transport et fondations notamment), la connexion réseau et la maintenance (difficulté d'accès) plus coûteuses que sur la terre. De même le milieu marin entraîne une usure précoce des mécanismes des éoliennes qui sont donc à changer plus fréquemment.

Trois autres types de défis s'adressent également à l'industrie éolienne :

-Les premiers portent sur l'insertion des parcs éoliens **dans le réseau**, avec des puissances toujours plus élevées, en particulier les parcs off-shore.

-Les seconds portent sur l'amélioration de **la capacité de déploiement et de fonctionnement notamment sur terrain difficile et en environnement extrême** (on et off-shore), ce qui impose notamment de développer des technologies plus fiables et résistantes et de rechercher des gains de productivité au niveau des méthodes d'installation et de maintenance des aérogénérateurs.

-Les troisièmes types de défis portent sur **l'insertion** des champs d'éoliennes **dans leur environnement**, avec des problématiques paysagères mais aussi sociologiques en matière d'acceptabilité sociale, ainsi que juridiques en particulier concernant l'off-shore.

6 Voir le détail du coût d'un champ d'éoliennes au chapitre 4.2

7 (EWEA) - European Wind Energy Association

**Le tableau ci-dessous détaille les objectifs de la recherche en matière d'éolien pour ces 4 principaux défis technologiques, à partir de sources diverses<sup>8</sup>.**

Défis technologique	Axes de recherche
Augmenter la capacité nominale de production des éoliennes en vue d'atteindre 8 à 10 MW par machine et améliorer le rendement des aérogénérateurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technologies destinées à étendre la production sur un plus large spectre de vitesse de vent (vent faible à très fort)</li> <li>- Conception aérodynamique et aéro-élastique, conception de structure</li> <li>- Interfaces mécaniques pour alléger la charge dynamique (notamment tendance vers une disparition des réducteurs et développement de l'entraînement direct synchrone)</li> <li>- Nouveaux matériaux plus résistants aux fortes charges et à plus d'humidité interne</li> <li>- Technologies de production avancées pour réduire les coûts</li> <li>- Développement de capacités de modélisation, de nouvelles méthodes de test</li> <li>- Nouveaux types de générateurs électriques, d'électronique de puissance et de contrôle</li> <li>- Roulements à billes et convertisseurs en vue d'une amélioration des rendements &gt;30%</li> <li>- Electronique de puissance avancée : composants électroniques améliorés</li> <li>- Au niveau des pales : spectre de charge, matériaux nouveaux plus légers et plus robustes, optimisation de la géométrie des pales et du contrôle actif</li> </ul>
Améliorer l'insertion des très larges fermes éoliennes dans le réseau avec une plus forte proportion d'électricité d'origine éolienne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmenter la capacité de prévision de production à court terme de chaque ferme (ceci inclut la connaissance des phénomènes climatiques locaux à court terme, l'influence de la ferme sur ses propres flux de vent)</li> <li>- Concernant l'off-shore, développement de solutions pour l'accès et transmission au réseau</li> <li>- Améliorer les systèmes de contrôle de fermes éoliennes et de réseaux de fermes éoliennes</li> <li>- Nouvelles technologies de stockage et de transmission de l'énergie</li> <li>- Bâtir des scénarios pour concevoir un nouveau réseau européen</li> </ul>
Améliorer la capacité de déploiement et de fonctionnement notamment sur terrain difficile et en environnement extrême (in et off-shore)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractérisation des sites, évaluation des potentiels</li> <li>- Amélioration des techniques de transport et d'installation des parties d'éoliennes et d'accès pour la maintenance des fermes éoliennes</li> <li>- Développement de fondations adaptées aux grandes profondeurs (plus de 30m)</li> <li>- Développement de systèmes flottants pour grandes profondeurs en optimisant le couple générateur/flotteur</li> <li>- Développement de turbines adaptées à un environnement sévère (forte humidité et salinité, froid intense...)</li> <li>- Développement de systèmes combinés éoliens marée/vagues pour l'off-shore</li> <li>- Systèmes pour ralentir l'encrassement des pales ou faciliter leur nettoyage et développement de système de détection de défaillance précoce</li> <li>- Recherche de nouveaux matériaux pour fondations avancées et de tours auto érectiles</li> </ul>
Limitier l'impact environnemental et social	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolation phonique de la nacelle, amélioration des boîtes de vitesse, meilleur design de l'extrémité des pales</li> <li>- Réduction de l'impact visuel sur le paysage, insertion du petit éolien en site urbain</li> <li>- Analyser les interactions et effets cumulatifs potentiels des différents impacts environnementaux (bruit, effet électromagnétique...)</li> <li>- Analyser le cycle de vie des composants, en vue de leur démantèlement et recyclage, améliorer la recyclabilité ou permettre le recyclage d'éléments de l'éolienne en premier lieu les matériaux composites.</li> <li>- Analyser les conflits d'intérêts liés aux grands champs d'éoliennes in et off-shore, notamment d'un point de vue juridique, en particulier concernant les questions de propriété liées aux fermes off-shore (privatisation des eaux territoriales ou internationales)</li> </ul>

<sup>8</sup> « Rapport technologies clefs 2010 », 2005, « Rapport technologies clefs 2015 », 2011 ; « FP7 research priorities for the renewable Energy sector 2007-2013 », EUREC (European Renewable energy centres Agency) 2005. EUREC regroupe les principaux centres de recherche européens œuvrant dans les ENR, ainsi que les associations professionnelles européennes d'entreprises œuvrant dans les ENR ; « Stratégie nationale de recherche énergétique » rapport au gouvernement mai 2007. Rapport ANCRE (Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie) juin 2010 ; « Stratégie nationale de recherche et d'innovation 2009 », rapport au gouvernement, juillet 2009.

## 2.3- Eléments de comparaison internationale sur la recherche dans l'éolien

La recherche dans l'éolien a et doit encore surmonter de nombreux défis. Si les technologies utilisées par l'industrie éolienne sont dans l'ensemble relativement robustes et matures, il n'en reste pas moins que les nouveaux contextes de mise en œuvre et le besoin de réduire les coûts portent ces technologies à leurs limites. Ceci justifie la poursuite d'intenses efforts de recherche financés en partie par les états et par l'Union Européenne pour l'Europe.

L'Union Européenne, à travers ses programmes cadres de recherche et développement (PCRD) est un acteur incontournable de la recherche dans le domaine des ENR. Elle a pour rôle d'orienter et coordonner la recherche sur les énergies renouvelables dont l'éolien à travers des financements attribués dans le cadre d'appels à projets annuels.

Chaque année plusieurs dizaines de millions d'euros sont alloués à la thématique génération d'électricité renouvelable qui inclue l'énergie éolienne. Ces dépenses constituent un apport important au regard des montants dépensés par chaque pays en R&D éolienne (voir plus bas)<sup>9</sup>.

Le 7<sup>e</sup> PCRD 2007-2013 a ciblé comme principaux objectifs de recherche sur la période les thématiques suivantes :

- Développement de composants et de systèmes pour turbines et fermes éoliennes
- Conditions externes, estimations et prévision de la ressource éolienne
- Test des standards et certifications pour les systèmes énergétiques éoliens
- Démonstrateurs de fermes éoliennes on et off-shore à grande échelle
- Intégration de l'énergie éolienne dans le réseau éolien européen
- Cartographie du vent pour des applications off-shore
- Très grande turbine off-shore

Au niveau des Etats, la recherche dans l'éolien est loin d'être le principal poste de dépense en R&D, y compris lorsque l'on se place uniquement dans le contexte de la recherche sur les ENR.

Dans la plupart des pays acteurs de l'éolien, ce poste est devancé par les dépenses portant sur l'énergie solaire.

Cependant on constate que les pays qui ont été précurseurs mondiaux dans l'éolien et ont réussi à développer une industrie puissante sont aussi ceux qui ont à la fois consacré des montants importants à la R&D éolienne et pour lesquels la R&D éolienne représentait un poids important dans la R&D sur les ENR. Ainsi, le Danemark depuis les années 80 a consacré en moyenne 40% de son budget national de R&D dédié aux ENR pour la seule recherche sur l'éolien, en Allemagne cette moyenne était de 15 à 20% suivant les années sur la même période, avec des pointes à 35% comme l'année 2009. Historiquement, ce sont les deux pays européens qui ont le plus investi dans la R&D sur l'éolien, le Danemark avec une moyenne de 11 millions d'Euros par ans depuis 2000 et l'Allemagne 18 millions d'Euros, avec un pic en 2008 à 40 millions d'Euros.

La lecture du graphique ci-dessous montre à la fois l'importance de l'effort de recherche mené par les pays ayant développé une industrie éolienne puissante mais aussi sa forte variabilité liée aux programmes de recherche dédiés aux différentes familles de l'éolien.

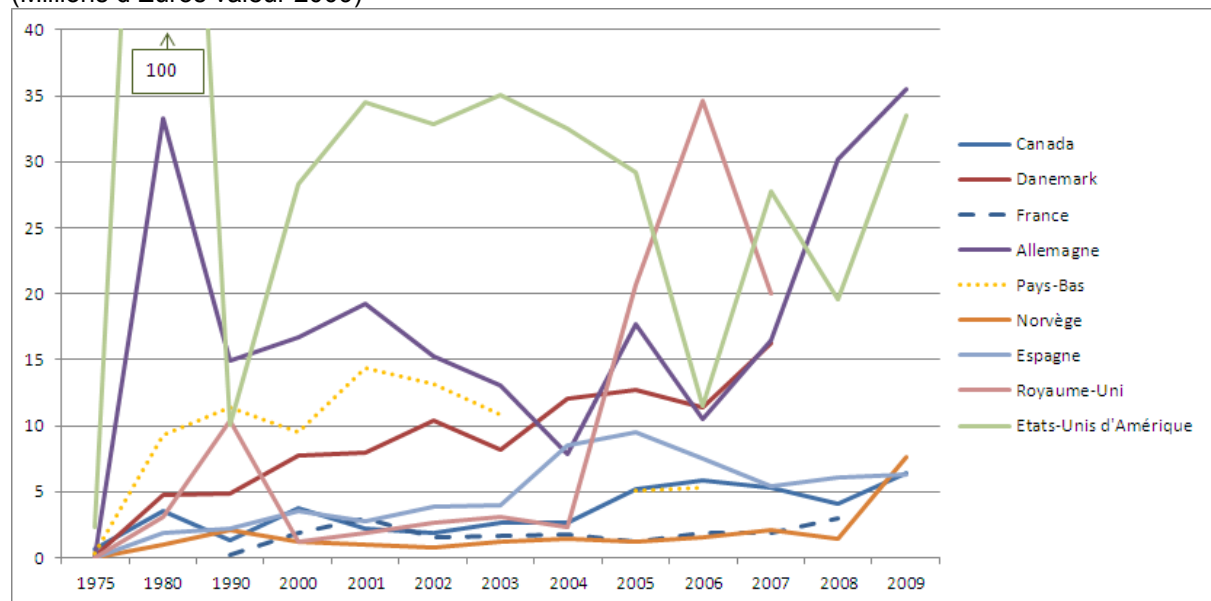
Ainsi, la forte poussée des budgets de R&D de la fin des années 90 et du début des années 2000 correspond globalement à l'émergence de l'éolien terrestre. Cette poussée connaît un relatif répit pour retrouver une nouvelle vigueur à partir de la seconde moitié de la décennie 2000 et l'émergence de l'éolien off-shore. Les nouveaux besoins de recherche liés à l'éolien off-shore flottant ont généré une vive hausse du budget de la Norvège qui est le premier à s'être positionné sur cette technologie avec

---

<sup>9</sup> Les montants exacts alloués sont difficiles à estimer car suivant les années, les budgets sont fondus entre plusieurs thématiques et l'énergie éolienne n'a pas de budget propre alloué. Pour information, le budget 2008 pour la thématique génération d'électricité renouvelable qui incluait le PV et l'éolien se montait à 42 millions d'euros pour l'Europe, cette même année, les dépenses de R&D dans l'éolien cumulées des principaux pays européens actifs dans l'éolien (All, DK, Esp, UK, FRA, NVG, NL) étaient de l'ordre de 70 millions d'euros selon la base de données de l'AIE.

la réalisation et l'installation d'un démonstrateur dès 2009. De même, le Royaume-Uni jusque-là peu actif sur l'éolien a lourdement investi entre 2005 et 2007, principalement sur la thématique off-shore, avec des budgets dépassant celui de l'Allemagne pour les trois dernières années connues.

### Budget de R&D dans les énergies éoliennes pour une sélection de pays (Millions d'Euros valeur 2009)



Source : AIE, agence internationale de l'énergie, database

## 2.4- La recherche sur l'éolien en France

La France est très en retrait par rapport aux pays les plus avancés puisqu'elle consacre en 2009 moins de 3% de son budget national de R&D dédié aux ENR pour la recherche sur l'éolien. Cette part avait atteint 12% au début des années 2000 à une période où la France nourrissait quelques espoirs de rattraper son retard sur l'éolien terrestre et alors que le budget global sur les ENR était 6 fois inférieur à ce qu'il était en 2008. Le budget dédié à la recherche sur l'éolien en France a peu varié sur la dernière décennie (2000 à 2008) et représente en moyenne un peu moins de 2 millions d'euros par an.

Actuellement, la R&D éolienne française n'est pas structurée au niveau national, il n'existe aucune structure de recherche fédérative dédiée à l'éolien. De même, l'ANR ne dispose pas de lignes de financement spécifiques à cette thématique de recherche comme elle le fait pour le PV par exemple.

Pourtant il n'en a pas toujours été ainsi. Au cours des années 2004-2006, en pleine phase d'engouement pour l'éolien, l'ADEME avait lancé des appels à projet dédiés. La position de l'ADEME<sup>10</sup> était de tenter de favoriser l'émergence de quelques fournisseurs nationaux d'envergure mondiale.

*« Même si aucun fabricant national ne parvient à s'imposer sur le marché du grand éolien, il est possible, avec une politique d'aide ciblée, de permettre à certains acteurs français de se positionner sur des niches où ils ont des compétences de très haut niveau.*

*C'est ce vers quoi doit tendre la politique R&D de l'ADEME dans le domaine éolien. On peut citer les domaines suivants :*

- la mesure du vent,
- la fabrication à partir de matériaux composites (pales et autres composants),
- l'électrotechnique industrielle (génératrices performantes et innovantes),
- la gestion des réseaux électriques,
- les technologies de l'off-shore.

*et un domaine plus transversal : la modélisation et le calcul numérique. »*

<sup>10</sup> Le texte en italique est tiré du rapport : « ADEME Programme de Recherche et Développement Technologique, Filière éolienne, Description du programme 2004 à 2006 et point à échéance 2005, Mars 2006. »



Grâce à cette politique nationale, une dynamique s'était amorcée et des équipes s'étaient mises en place au sein de diverses institutions de recherche dont l'ONERA qui a acquis à cette occasion une bonne expertise dans le domaine de la modélisation aérodynamique des éoliennes, parmi les industriels français actifs dans le secteur dont Jeumont, filiale d'Areva qui était alors positionné comme constructeur d'éoliennes ou encore SAIPEM, avec l'étude « coef » réalisée en 2004 sur financement de l'ADEME qui s'est positionné comme un acteur important dans le domaine de l'off-shore. Des entreprises ont pu développer des activités spécifiques à l'éolien comme Leosphere qui a mis au point avec l'ONERA un outil de mesure du vent sur sites à base d'un système de radar laser (LIDAR).

A l'issue de cette période un rapport commandé par l'ADEME et réalisé par le CEP d'Armines<sup>11</sup> dressait le bilan de la filière éolienne française et de la recherche nationale dans ce domaine. Ces constats restent globalement d'actualité.

Le rapport fait le **constat du retard de la filière nationale** qui n'est pas d'ordre technologique mais **principalement réglementaire**, ainsi que du **manque de structuration de la filière** et de l'absence d'un champion national d'envergure internationale. On pourrait ajouter à ces constats le reproche fait par les industriels d'objectifs de développements trop faibles (notamment sur l'off-shore) par rapport à nos voisins pour impulser la création d'une filière française.

Il indique les points forts de la recherche française dans le domaine de la connaissance de la ressource et les prévisions de production, des sciences de la mer. Il cite aussi des compétences plus ciblées sur des briques technologiques clés : roulements, électrotechnique, aérodynamique.

La principale recommandation concernant la recherche sur l'éolien porte sur la nécessité d'ancrer la recherche française dans une dimension européenne afin de contourner l'obstacle du caractère non prioritaire de l'éolien au niveau national.

Il propose de focaliser les efforts de recherche français dans l'éolien sur les thématiques suivantes :

- l'évaluation des gisements,
- la prévision de la production,
- l'aérodynamisme,
- l'électrotechnique,
- la technologie off-shore.

Parmi les autres recommandations figure la nécessité de mettre en place une structure fédératrice pour la recherche sur l'éolien à l'image de ce qui se fait en Allemagne, au Danemark ou en Espagne et qu'à minima cette structure prenne la forme d'un centre virtuel d'excellence pour mettre en relation les acteurs de la recherche actifs sur ce thème.

Il cite aussi l'importance de la création d'un ou plusieurs centres techniques destinés aux professionnels de la gestion des éoliennes (implantation, mise en service, maintenance, aspects juridiques...).

On constate depuis 2006 un relatif refroidissement de l'élan pour l'éolien, avec la disparition de l'affichage de la thématique éolienne en tant que telle au sein des grands programmes nationaux de recherche structurants.

Ce refroidissement est aussi, selon les acteurs industriels, lié à un ensemble de messages contradictoires quant à la volonté réelle de développer l'éolien en France, dont le dernier avatar est une difficile mise en œuvre des appels d'offres pour le développement de parcs éoliens off-shore, tandis que la Grande-Bretagne de son côté lance d'importantes tranches de parcs éoliens off-shore et attire à elle de nombreux investissements étrangers.

Ces éléments ont eu pour conséquence pour les acteurs français de la filière des stratégies de mise en sommeil relatif des moyens et équipes qui s'étaient mobilisées sur la question.

En 2008, une initiative nationale en faveur des énergies marines s'est formalisée avec la signature de la charte IPANEMA (Initiative PArtenariale Nationale pour l'émergence des Energies Marines<sup>12</sup>). Cette charte implique différents collèges de partenaires : Institutions de recherche et académiques, industriels, collectivités territoriales, Etat, fournisseurs d'électricité, acteurs de la compétitivité et usagers de la mer. IPANEMA se fixe 4 principaux objectifs :

---

<sup>11</sup> « Bilan et prospective de la filière éolienne française, rapport final », Jérôme Gosset, Thierry Ranchin, Armines, CEP, février 2006.

<sup>12</sup> [www.ipanema2008.fr](http://www.ipanema2008.fr)

- Favoriser et promouvoir le développement d'une filière industrielle et scientifique sur les énergies marines
- Mettre en place un réseau coordonné des acteurs œuvrant dans ce domaine
- Développer des sites d'essais en mer adaptés aux différentes technologies d'énergies marines
- Faciliter le développement de démonstrateurs (technologiques et économiques)

Comme en atteste l'origine géographique des signataires de la charte, les équipes de recherche actives sur cette thématique tout comme les activités industrielles attendues seront surtout présentes au sein des régions côtières et en tout premier lieu l'Atlantique principalement à Brest (DCNS et Ifremer) avec le pôle mer nord, mais aussi à Nantes-St Nazaire, Le Havre ainsi qu'en Méditerranée.

Depuis 2009, prenant acte du retard important de la France dans l'éolien posé (on et off-shore), l'Etat a décidé de réorienter la stratégie nationale dans le domaine de l'éolien en direction de l'off-shore flottant<sup>13</sup>, en l'intégrant à une thématique plus générale sur les énergies marines renouvelables (EMR) et en insistant sur les approches « système ».

Un autre document<sup>14</sup> précise les principales orientations que devrait prendre cette recherche pour un horizon 2015/2020 :

*« Pour le développement de l'éolien off-shore flottant, il apparaît primordial de travailler à la conception et à l'optimisation du couple flotteur / aérogénérateur. Cela passe par le développement d'un outil de simulation d'un système mécanique complexe (mouvement du flotteur, contraintes environnementales, etc.), qui devrait ensuite permettre de dimensionner au mieux les technologies correspondant aux contraintes technico-économiques des différents sites d'exploitation envisagés dans une optique d'essais en bassin, dans un premier temps, pour in fine aboutir à un démonstrateur. »*

Dans ce cadre, l'ADEME a mis en place un fonds démonstrateur, dont la seconde vague de 2009 dotée d'un budget de 175 millions d'Euros porte notamment sur les énergies marines.

Parmi les projets visés figurent les démonstrateurs sur l'éolien flottant. Plusieurs projets sont actuellement en cours d'instruction dont le projet de démonstrateur Winflo de DCNS/SAIPEM appuyé sur le pôle mer Bretagne, ou encore Vertiwind du consortium IFP-EN, NENUPHAR, EDF EN et CONVERTEAM qui s'appuie sur le pôle mer PACA.

L'appel à manifestations d'intérêt sur les démonstrateurs éolien flottants est assorti d'une feuille de route détaillant les modalités de mise en place d'une filière éolienne française et les principaux verrous technologiques à surmonter.

---

<sup>13</sup> « Stratégie nationale de recherche et d'innovation 2009, rapport général », Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, juillet 2009 »,

<sup>14</sup> Rapport d'étape, Juin 2010, Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie (ANCRE)

# 3–Contexte économique : marchés actuel et potentiel

## 3.1 – Les segments de marché

Les applications de l'éolien pour la production d'électricité recouvrent deux principales filières qui font appel à des acteurs différents :

- Le grand éolien (de 36 kW à plusieurs MW, la limite basse est variable selon les pays et les sources)
- Le petit éolien (inférieur à 36 kW)

**Le grand éolien** s'adresse principalement à des professionnels de la génération d'énergie qui installent des éoliennes pour revendre ensuite leur production électrique via le réseau. Les éoliennes sont dans leur très grande majorité installées en parcs qui regroupent plusieurs éoliennes afin de réduire les coûts d'infrastructure, de raccordement et de maintenance.



Photo : Thierry Petit

Les grandes éoliennes sont regroupées en parcs constitués de fermes éoliennes de plusieurs machines.

En France les parcs sont couramment construits par tranches de 8 à 12 machines. Le second plus grand parc français en termes de puissance est situé à Fruges dans le département du Pas-de-Calais avec une puissance de 86 MW. Ce parc est le premier en termes de nombre de machines et rassemble plus de 43 turbines en 8 fermes.

Le grand éolien se répartit selon deux grands segments :

-L'éolien terrestre (on-shore), est le plus ancien et représente 88% du marché européen en 2010, il a atteint un stade de maturité technologique qui contribue à verrouiller l'accès au marché pour de nouveaux acteurs, d'autant qu'une phase de concentration par disparition d'acteurs ou absorption est à attendre au moins au niveau européen.

-L'éolien maritime (off-shore) est encore minoritaire avec 12% du marché européen. Plus récent, avec moins de dix ans depuis la première installation, il connaît un fort développement car situé dans les zones à plus fort potentiel de vent alors que parallèlement le gisement de sites terrestres accessibles au marché tend à se raréfier<sup>15</sup>. Il fait appel à des technologies similaires à l'éolien terrestre dans les zones de profondeur n'excédant pas 50m où l'on parle d'éolien posé. Ceci explique qu'il y ait identité d'acteurs entre l'éolien terrestre et l'éolien off-shore posé.

L'éolien off-shore flottant est une technologie émergente, avec actuellement un seul démonstrateur en fonctionnement installé en Norvège. Ce type d'éolienne est destiné aux sites d'une profondeur

---

<sup>15</sup> Bien que physiquement parlant les sites d'implantations restent potentiellement nombreux à terre, les conditions économiques et d'acceptation sociales que connaît la filière dans de nombreux pays limite fortement le potentiel réellement exploitable.

supérieure à 50m, ce qui correspond à l'essentiel de l'espace maritime mondial. Il fait appel à des technologies issues de la recherche pétrolière en mer, avec des besoins d'adaptation flotteurs/machine qui devraient permettre à de nouveaux acteurs d'entrer dans la filière en tant que constructeur.

Son développement n'interviendra pas avant 2015, avec des démonstrateurs français et les premiers champs éoliens flottants. Il doit prouver sa viabilité économique et ne se développera pas de façon conséquente avant la saturation des sites marins les plus proches des côtes.

Cette dernière technologie est très prometteuse pour **l'industrie française très bien placée sur les technologies off-shore flottantes**, avec des acteurs nationaux qui figurent parmi les leaders mondiaux. Par ailleurs, l'éolien off-shore de grande profondeur est un énorme marché potentiel au niveau mondial car peu de pays ayant une façade maritime disposent de larges zones de faible profondeur comme la Manche.

**Le petit éolien** est un marché balbutiant qui s'adressera plutôt aux particuliers et dont la technologie n'en est qu'à un stade émergent,

Le petit éolien porte soit sur des implantations en site ouvert sur mât pour des puissances n'excédant pas 36 KW, soit sur de l'éolien fixé sur toiture, on parle d'éolien urbain avec dans les deux cas des machines à turbines à axe horizontal (l'éolienne traditionnelle) ou à axe vertical.

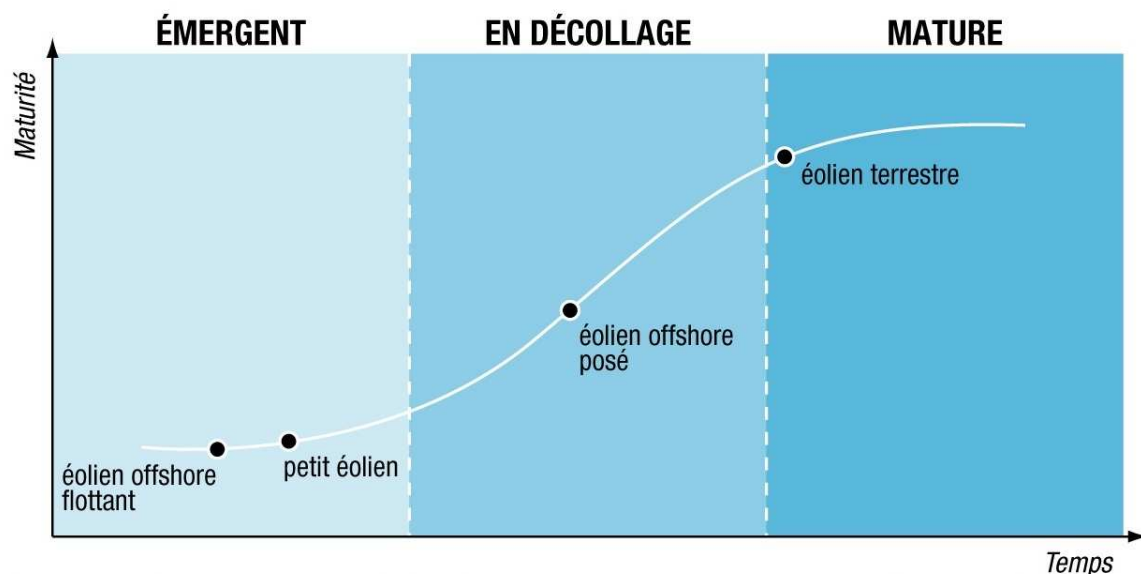
Ce marché est en cours de développement dans les pays anglo-saxons (USA avec la tradition des éoliennes de pompage, Royaume-Uni avec un développement annuel de 3 300 turbines<sup>16</sup>, ou encore en Espagne. Il reste très limité en France.

Pour s'ouvrir un vaste marché, le petit éolien urbain nécessite encore de nombreux développements et recherches pour prouver son potentiel de production électrique, sa fiabilité et diminuer les coûts de production. Par ailleurs, le coût important des études de faisabilité est aussi un frein puissant.

Ce marché est néanmoins potentiellement très porteur au sein des grandes régions métropolitaines.

Le schéma ci-dessous résume l'état d'évolution de chacune des filières et segments évoqués.

## Maturité des marchés et des technologies de l'éolien



Source : d'après l'étude "Filières vertes" MEEDDM / CGDD - oct. 2009 et compléments d'informations recueillis par l'IAU îdF  
© IAU îdF

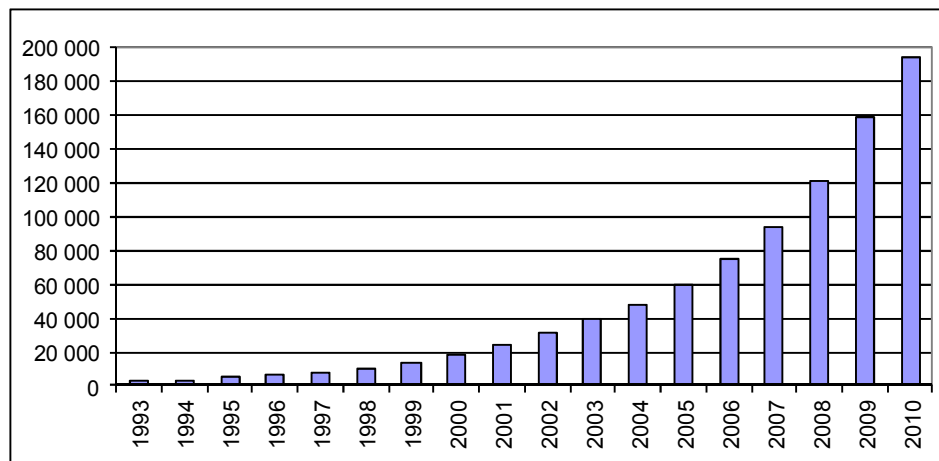
Les chapitres suivants ne traiteront que de la filière du grand éolien qui constitue de loin la principale filière en termes d'activités et pour laquelle nous disposons de données organisées et comparables au niveau international.

<sup>16</sup> voir chapitre 7, l'expérience du petit éolien au Royaume-Uni

## 3.2 – Le marché du grand éolien dans le monde<sup>17</sup>

La puissance éolienne mondiale cumulée s'est fortement développée au cours des 15 dernières années avec un taux de croissance moyen annuel de 29%, il atteint désormais 194 500 MW<sup>18</sup>. Cette progression reste globalement vive sur les presque 20 ans de la période malgré un ralentissement en 2010 de la puissance annuellement installée (-5,8% avec 35,7 GW installés) qui fait suite à une progression record en 2009 +31% (+38 GW).

Evolution de la puissance éolienne cumulée dans le monde en MW



Source : GEWEC (Conseil mondial de l'énergie éolienne)

Les chiffres de 2010 montrent un effondrement du marché américain (-50% environ), un ralentissement du marché européen (-7% environ) et une forte accélération du marché asiatique (+36%). Parallèlement on observait des baisses d'activité significatives pour les principaux acteurs de l'éolien en 2010 (General Electric -32% au 3<sup>e</sup> trimestre 2010, -40% au premier semestre 2010 pour l'espagnol Gamesa et -27% de ventes sur la même période pour le premier fabricant mondial, le danois Vestas). Cette baisse est fortement liée aux difficultés des banques qui financent plus difficilement les projets éoliens, en particulier en Europe et en Amérique du nord. A contrario, les pays asiatiques sont moins touchés par ce phénomène.

L'Europe dispose encore de la première puissance cumulée du monde avec 86 200 MW en 2010. Elle représente un peu moins de la moitié du parc mondial (44,3%). Pour le reste du monde, la puissance cumulée se répartit entre l'Asie (30%) et l'Amérique du nord (23%). Cependant, en Asie, la Chine représente à elle seule 72% de la puissance cumulée de cette région (contre 61% en 2009), suivie par l'Inde (22%). En Amérique du Nord, les Etats-Unis concentrent à eux seuls 91% de la puissance continentale.

En 2009, pour la première fois, l'Asie est devenue le premier marché continental mondial. En 2010 elle conforte sa première place (avec 19 022 MW) devant le marché européen (9 798 MW) et nord-américain (5 805 MW).

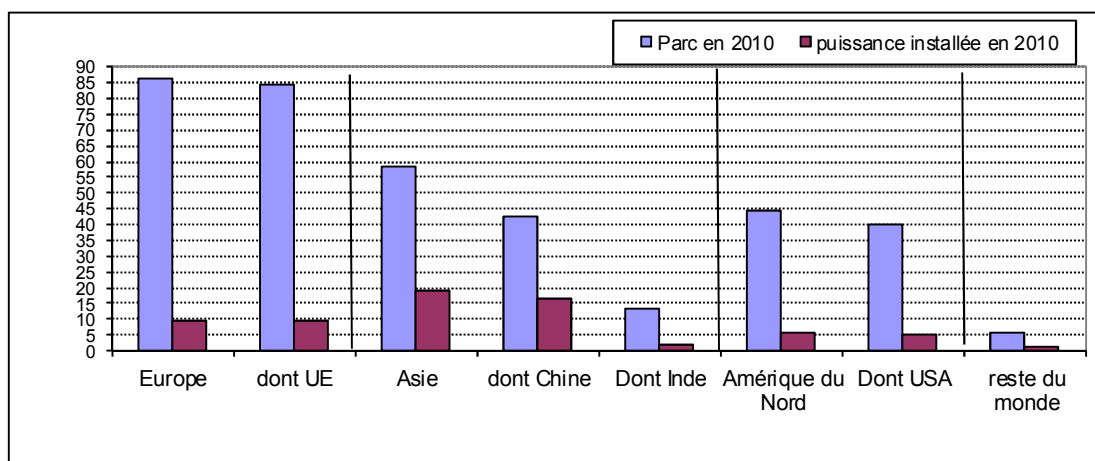
Le marché chinois est devenu le premier marché national mondial devant les USA avec 16 500 MW installés dans l'année soit plus que les marchés de l'Union européenne et des Etats-Unis réunis.

En 2009, la Chine a affiché ses objectifs de puissance installée pour 2020 à 200 (l'objectif en France est de 25GW). Enfin, l'Inde qui a une longue tradition dans l'éolien représente aussi un potentiel très important elle serait le 3<sup>e</sup> marché mondial par pays en 2010 avec 2 139 MW (5<sup>e</sup> en 2009). Compte tenu des tendances observées qui devraient se poursuivre, il est probable que l'Asie conforte sa position de premier marché mondial et rattrape le niveau du parc européen dans un horizon proche, favorisant ainsi les constructeurs asiatiques au détriment des constructeurs occidentaux et notamment européens.

<sup>17</sup> La notion de marché se réfère aux puissances annuelles installées. Le cumul des puissances annuellement installées forme le parc installé (le stock).

<sup>18</sup> Soit l'équivalent théorique de 130 tranches nucléaires. Les tranches nucléaires françaises ont une puissance unitaire variant de 900 à 1 500 MW.

### Parc éolien et puissance installée en 2010 par grande zone géographique mondiale (GW)



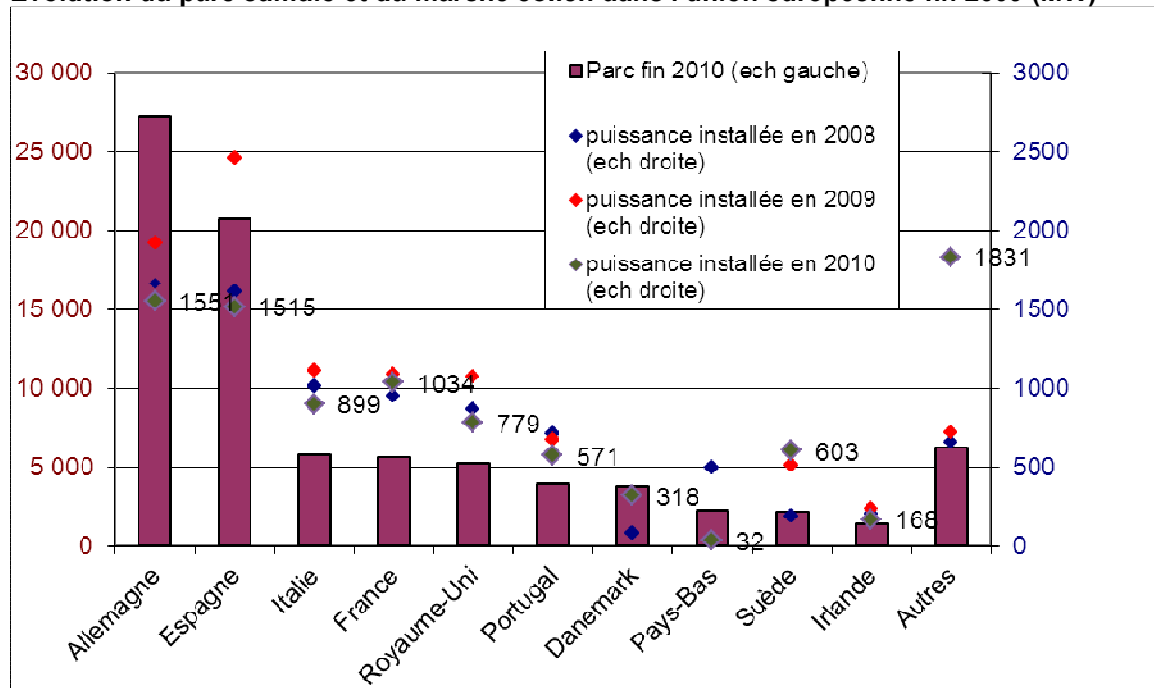
Source : Euroobserver « wind energy barometer 2011 », février 2011, estimations pour 2010

### 3.3 – Le marché du grand éolien en Europe

Le marché Européen est dominé par l'Espagne et l'Allemagne au coude à coude en 2010 avec plus de 1 500 MW chacun. Ces deux pays représentent à eux seuls 33 % du marché (44% en 2009) et 57% du parc cumulé européen. Ces deux pays ont cependant accusé une forte baisse en 2010 (-38% pour le premier, -19% pour le second).

A côté de ces deux marchés phares, la France se classe en 3<sup>e</sup> position avec plus d'1 GW installés dans l'année ce qui est proche de son volume de 2009 (1,066 GW). Depuis deux ans l'évolution du marché européen est de plus en plus tirée par de nouveaux pays en phase d'équipement, notamment la France, l'Italie, le Royaume-Uni, la Suède et le Portugal, avec des valeurs comprises entre 1Gw et 570 MW pour le dernier de la liste. Les trois derniers pays cités ont bénéficié de la mise en service des premiers parcs éolien off-shore de grande envergure.

#### Evolution du parc cumulé et du marché éolien dans l'union européenne fin 2009 (MW)



Source : GEWEC

## L'éolien off-shore en Europe : vers une explosion du marché

L'Europe est un des lieux les plus propices au monde pour développer de l'éolien off-shore puisqu'elle allie d'importantes ressources en vents et des fonds de 30m maximum sur une grande surface.

Fin 2010, Eurobserv'ER<sup>19</sup> estimait le parc éolien off-shore européen cumulé à 3 050 MW, soit 3,6% du parc cumulé européen (off-shore plus on-shore). Cette part était de 2,75% en 2009.

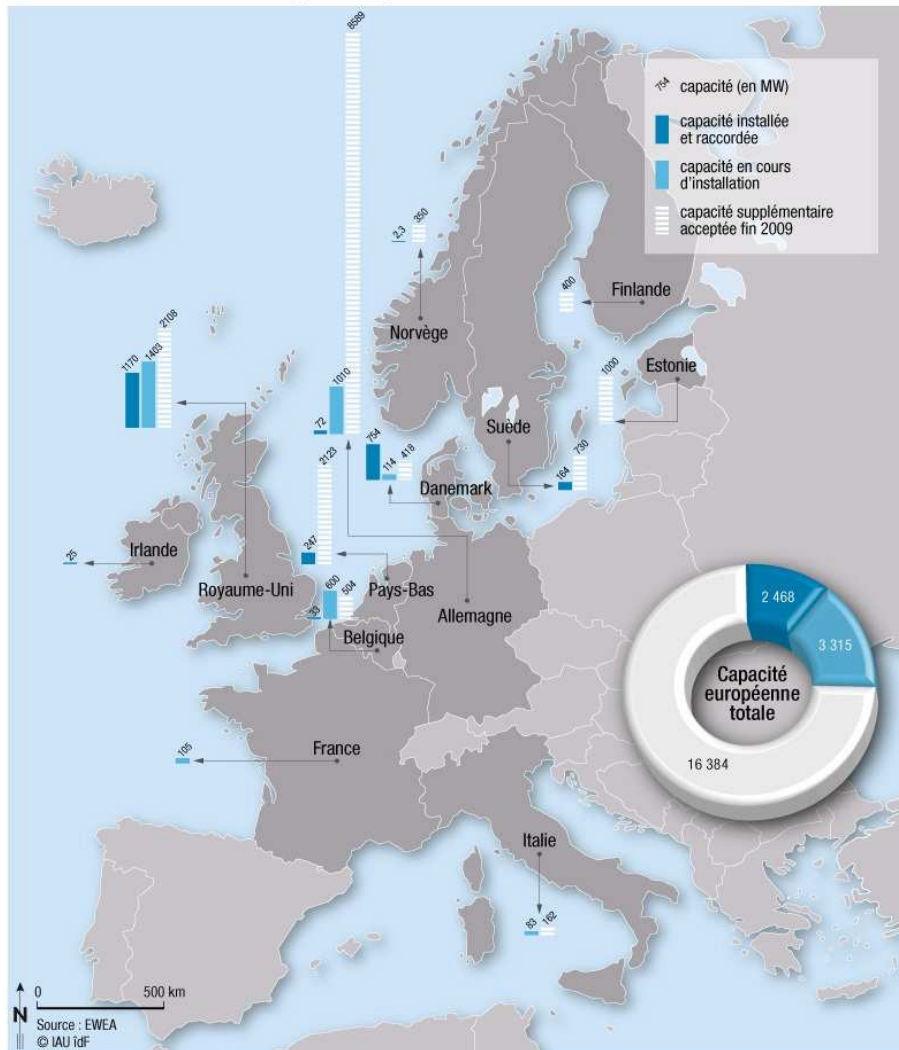
Cependant l'éolien off-shore est promis à un bel avenir.

La progression du parc off-shore a été de 56% entre 2008 et 2009, et de 59% (1 139 MW) en 2010 par rapport à l'année 2009.

En termes de marché l'off-shore représente 12% du marché européen en 2010, en forte hausse par rapport à 2009 (5,7% du marché). Selon l'EWEA le parc off-shore devrait représenter 17% du parc éolien européen à l'horizon 2020 et 35% du marché. A l'horizon 2030, ces parts progresseraient respectivement à 38% et 64%, c'est à dire que le marché éolien européen à cette date reposera pour les 2/3 sur l'off-shore.

L'Ewea indique que les projets en cours de développement portent sur environ 3 500 MW en construction et plus de 16 000 MW de projets approuvés, ce qui portera le parc à plus de 20 000 MW en quelques années. Celui-ci anticipe par ailleurs un parc off-shore mondial de 114 GW à l'horizon 2020.

### L'éolien offshore en Europe au 30 juin 2010



<sup>19</sup> Eurobserv'ER 2011

Parmi les principaux pays ayant développé un parc éolien off-shore figure le Danemark second européen et pionnier dans ce domaine et qui dispose désormais de 750 MW installés off-shore soit près de 20% de son parc éolien cumulé total. En troisième position européenne, les Pays-Bas représentent 247 MW devant la Suède en 4<sup>e</sup> place (163 MW).

Alors qu'il a plus récemment investi ce domaine, le Royaume-Uni détient désormais le premier parc éolien off-shore d'Europe (1 170 MW en juin 2010) grâce à une très forte dynamique sur la période récente et des perspectives de développement total annoncées de 36 000 MW d'ici 2020. C'est dans ce dernier pays que se trouve le plus grand parc éolien off-shore au monde : le Parc Thanet au sud-est du Kent inauguré en septembre 2010, est doté d'une puissance de 300 MW pour 100 machines de 3 MW chacune.



Avec l'aimable autorisation de LM Windpower, [www.lmwindpower.com](http://www.lmwindpower.com)

Ce parc détrône ceux de Horn-Rev 1 et 2 au Danemark avec respectivement 160 MW et 209 MW de puissance, mais il sera lui-même rapidement détrôné par le gigantesque parc de London Array d'une puissance prévue de 1 000 MW avec 280 éoliennes.

La France a tardé à se lancer sur ce marché, cependant l'annonce en janvier 2011 du lancement de l'appel d'offre pour la première tranche de 3 000 MW off-shore la replacera parmi les principaux marchés européens.

Selon l'EWEA, l'éolien off-shore représenterait à l'horizon 2030 un parc de 70 000 à 150 000 MW en Europe dont les 6 000 MW annoncés pour la France. Actuellement, l'essentiel du développement off-shore se porte sur des fonds de 30m, compte-tenu du coût des fondations. Cependant, pour atteindre les prévisions à 2030, il faudra investir des zones de haut fond pour lesquelles les nouvelles générations d'éoliennes flottantes sont adaptées.



## 3.4 – Le marché de l'éolien en France

### 3.4.1- Au niveau national

En France la puissance installée cumulée a explosé depuis 1997 et presque triplé en 3 ans (période 2006-2009 dernière année complète disponible), passant de 1 600 MW à près de 4 500 MW en 2009. Selon les données disponibles sur le site [thewindpower<sup>20</sup>](http://thewindpower.net), le parc français atteindrait en septembre 2010 la puissance totale de 6 116 MW répartis sur 524 parcs, soit une progression de 36% en moins d'un an.

Sur les 10 dernières années le taux de croissance annuel moyen du marché français de l'éolien atteint 64%.

#### Evolution de la puissance installée cumulée et du marché français entre 1997 et 2010

Année	Puissance installée cumulée MW	Taille du marché (MW)	Evolution annuelle %
1997	10		
1998	21	11	110,0%
1999	25	4	19,0%
2000	68	43	172,0%
2001	95	27	39,7%
2002	148	53	55,8%
2003	248	100	67,6%
2004	386	138	55,6%
2005	757	371	96,1%
2006	1 567	810	107,0%
2007	2 455	888	56,7%
2008	3 404	949	38,7%
2009	4 492	1 088	32,0%
2010	5 660	1 034	23,0%

Source : SER, Eurobserv'ER 2011,

On l'a vu précédemment les éoliennes sont essentiellement regroupées au sein de parcs éoliens.

On compte en France 524 parcs éoliens<sup>21</sup> avec une puissance moyenne de 10MW. Parmi ceux-ci 68 (13%) ont une puissance supérieure à 20 MW, tandis que 12 parcs ont une puissance égale ou supérieure à 50 MW. Les 68 plus gros parcs français cumulent 2 300 MW de puissance installée soit 38% de la puissance installée totale ou en cours de construction en France.

Le plus gros parc français situé près de Millau abrite une puissance de 87 MW avec 29 machines de 3 000 MW, le second plus grand parc situé dans le Pas de Calais près de Boulogne-sur-Mer développe 86 MW mais compte 43 machines d'une puissance nominale de 2 000 MW. On voit ici tout l'intérêt de l'accroissement de la puissance nominale des machines qui permet de réduire l'impact visuel des champs d'éoliennes dans le cadre d'opérations de repowering<sup>22</sup>.

La croissance de la puissance des machines a entraîné dans un premier temps une réduction de la taille moyenne des parcs éoliens terrestres en France en termes de nombre d'aérogénérateurs, alors que la puissance des parcs croissait en parallèle.

Cette tendance à la réduction du nombre d'éoliennes par parc semble avoir atteint son point bas sous l'effet de la recherche de gains d'échelle au niveau des coûts de raccordement, d'infrastructure et de maintenance. Ainsi parmi les 12 parcs éoliens français de plus de 50 MW, 10 ont moins de 3 ans ou sont en cours de construction.

<sup>20</sup> [www.thewindpower.net](http://www.thewindpower.net)

<sup>21</sup> A mi 2010

<sup>22</sup> Remplacement d'éoliennes par des éoliennes plus puissantes, cas de plus en plus fréquent pour les marchés les plus anciens comme le Danemark, les Pays-Bas ou en Allemagne.

## Evolution de la taille moyenne et de la puissance moyenne des nouveaux parcs éoliens en France

Année	Nombre moyen d'éoliennes par tranche	Puissance moyenne de parcs éoliens
1999	12	<2MW
2007	8	12MW
2009	8	16MW
Fin 2010	8	20MW

Source : SER

La puissance moyenne des éoliennes a été multipliée par 7 environ entre 1997 et 2007. Ceci a permis une constante progression de la puissance des parcs avec une multiplication par 10 en 12 ans, pour un nombre relativement constant de machines.

Pour mémoire, en 2009 la puissance moyenne des éoliennes installées dans le monde était de 1,9MW, elle était de 2,1 MW en France pour un total de 518 éoliennes.

Le marché français est presque exclusivement alimenté par des éoliennes produites à l'étranger, alors qu'il n'existe aucune unité d'assemblage d'éolienne de grande puissance en France.

Du fait des fortes contraintes de coût de transport, ces importations proviennent exclusivement d'Europe. Cependant certains éléments sont produits en France comme notamment des mâts et des pales (Vergnet ou ATV), ainsi que des fournisseurs de rang 1 (voir carte des sites de production en France p 48).

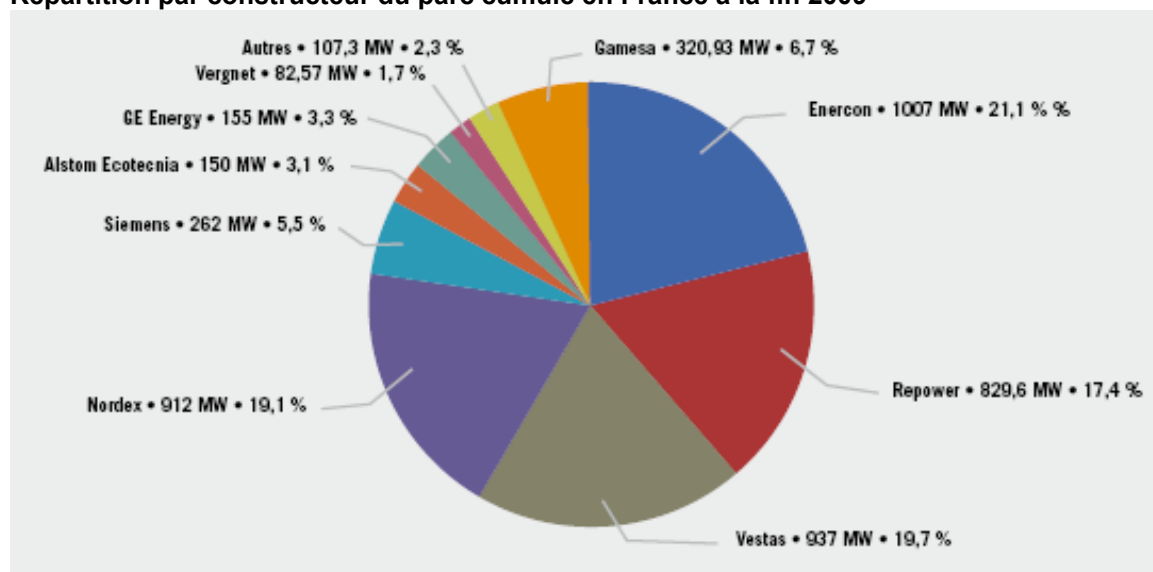
Le graphique ci-dessous indique les parts de marché des constructeurs d'éoliennes pour la France.

Le parc français tel qu'observé à la fin 2009 est presque exclusivement alimenté par des éoliennes d'origine étrangère, avec une nette domination de 4 constructeurs qui représentent à eux seuls près de 80% de la puissance installée en France.

Ces constructeurs sont allemands (Enercon, REpower) ou danois (Nordex, Vestas).

Les constructeurs français produisant en France (Vergnet) représentent 1,7% du parc installé français, tandis que Alstom Ecotecnia, société espagnole contrôlée par Alstom représente 3,1% du parc installé.

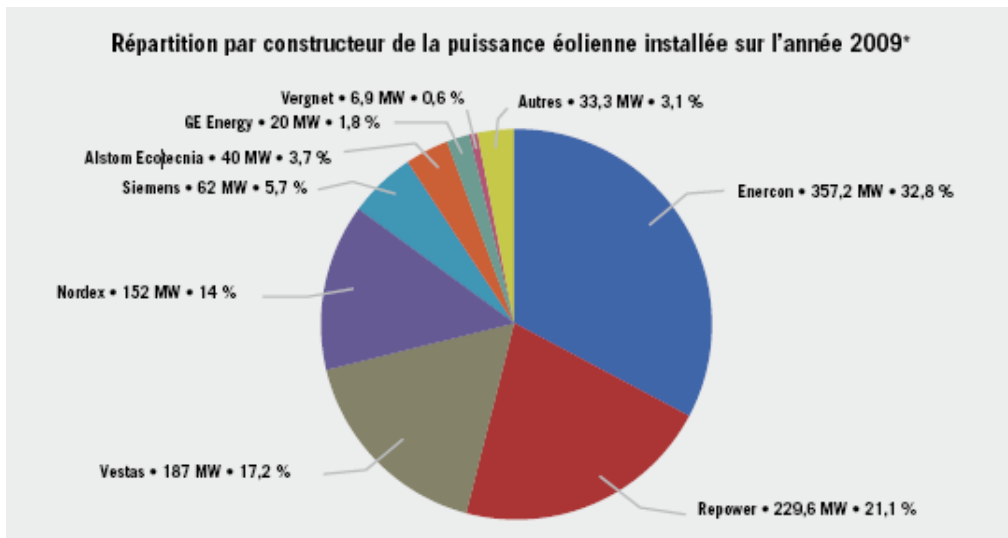
### Répartition par constructeur du parc cumulé en France à la fin 2009



Source : estimation SER FEE

Le marché de l'année 2009 ne montre pas d'inflexion notable de la part de marché du seul constructeur purement français : Vergnet. Bien au contraire, le développement du marché national étant principalement basé sur les éoliennes de grande puissance, il n'est pas favorable à Vergnet qui ne représente que 0,6% du marché français cette année-là. Par contre Ecotecnia qui a rejoint le groupe Alstom a gagné quelques dixièmes de pourcent pour se rapprocher de 4% et devenir le 6<sup>e</sup> fournisseur du marché français.

## Part de marché des constructeurs d'éoliennes pour la France en 2009



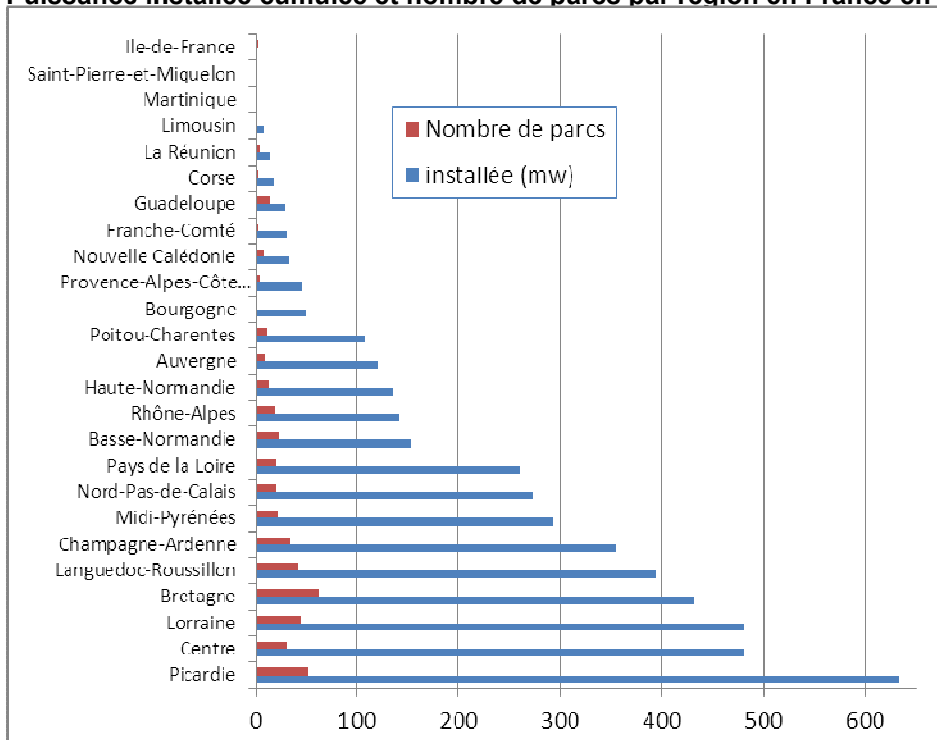
Source : estimation SER FEE

### 3.4.2- Les marchés régionaux

Les principales puissances installées en France se situent en Lorraine et Languedoc Roussillon, chacun de l'ordre de 400 MW en 2008. L'Île-de-France ne représente qu'une infime partie du parc national avec 0,1 MW installés selon ERDF<sup>23</sup> avec deux éoliennes en activité.

On comptait 2 570 éoliennes en France métropolitaine et 425 dans les DOM et COM en 2009. Compte tenu des tendances actuelles et des objectifs gouvernementaux, le nombre d'éoliennes en France devrait atteindre 8 000 en 2020.

#### Puissance installée cumulée et nombre de parcs par région en France en 2009



Source : SER 2010

<sup>23</sup> Selon le document : « Installations de production raccordées au réseau géré par ERDF à fin mars 2011 », ERDF

## 3.5 – Potentiel de croissance du marché

Le potentiel de croissance à long terme du marché dépend de plusieurs facteurs dont les principaux sont les politiques de soutien au marché de l'éolien et la capacité des industriels à abaisser leurs coûts de production pour approcher le coût de production électrique du réseau.

Si toutes les zones géographiques vont connaître une croissance c'est en zone Asie que la croissance sera la plus forte. Enfin, l'éolien off-shore constituera une part importante du marché mondial et la majorité du marché européen.

Le GWEC projette pour 2014 une progression du marché mondial de 66% par rapport à 2009. Toutes les zones géographiques progresseront mais l'Asie confortera sa place de premier marché mondial devant l'Amérique du nord et l'Europe. Les derniers éléments de marché disponibles pour 2010 confirment ces tendances (voir plus haut).

### Projection de marché par zone géographique en 2014

Continent	Marché en 2009 (GW)	Marché en 2014 (GW)	Croissance (2009/2014)	Traduction en nombre de mâts installés en 2009 (pour une puissance unitaire moyenne de 2MW en 2009)*
Asie	15,4	27	+75,3%	7 700
Amérique du Nord	10,9	16,5	+51,3%	5 450
Europe	10,5	14,5	+38,1%	5 250
Amérique latine	0,6	2,5	+316%	300
Océanie	0,6	1	+67%	300
Afrique et Moyen Orient	0,2	1	+400%	100
<b>Monde</b>	<b>38,2</b>	<b>62,5</b>	<b>+66%</b>	<b>12 730</b>

Source : GWEC « global wind 2009 report », \*estimation IAU-IDF

L'EREC et Greenpeace<sup>24</sup> projettent pour l'horizon 2030 un parc éolien mondial de 1 622 GW dont 114 GW off-shore. Ceci représente une multiplication par 10 du parc mondial actuel en 20 ans et une multiplication par 70 du parc off-shore. Ceci semble très cohérent avec les chiffres des tendances des 15 dernières années passées qui nous le rappelons étaient de 28% de croissance annuelle moyenne.

L'EWEA de son côté projetait en 2007 pour l'Europe un parc cumulé de 100 à 135 GW à l'horizon 2015 selon les scénarios, soit une progression de 25 à 60 GW sur la période 2009-2015 (d'après l'état du parc européen en 2009 voir chapitre 3.1.2 p10). Cette évolution tenait compte d'une baisse anticipée du marché entre 2008 et 2010 par rapport au pic de 2007, ce qui semble se réaliser (voir plus haut). Pour l'horizon 2020 elle anticipe un parc de 230 GW dont 40 GW off-shore (17% du total) soit un marché annuel de l'ordre de 11 GW dont 4 GW off-shore (35% du marché annuel). Pour l'horizon 2020 à 2030, l'EWEA attend un parc de 400 GW dont 150 GW off-shore (38%), ce qui correspondrait à un marché annuel de 17 GW dont 11 GW off-shore qui constituerait alors 64% du marché de la zone.

Concernant la France, en 2004, le « scénario énergétique tendanciel à 2030 pour la France »<sup>25</sup> misait sur un parc installé de 19 000 MW en éolien en 2030, pour un total de 144 000 MW de puissance nette installée toutes énergies confondues : renouvelables, fossiles et nucléaire<sup>26</sup>.

Dans le cadre du Grenelle environnement, l'éolien s'est vu fixer un objectif plus ambitieux avec un parc installé de 25 000 MW dont 6 000 MW off-shore, à un horizon plus rapproché à savoir 2020.

Ces objectifs français s'ils se réalisaient, placeraient l'éolien en troisième position comme source d'énergie après le nucléaire et à quasi égalité avec l'hydraulique.

Pour atteindre les objectifs du Grenelle, il serait nécessaire de multiplier le parc actuel par un facteur 5 à 6 sur les 10 prochaines années, ce qui signifie installer en moyenne 2 000 MW par an, soit un rythme deux fois supérieur à celui observé ces trois dernières années.

24 Energy [r]evolution, a sustainable global energy outlook, octobre 2008, Greenpeace, EREC (European Renewable Energy Council)

25 « Scénario énergétique tendanciel à 2030 pour la France » - DGEMP-OE(2004) - synthèse des travaux réalisés en 2004 par l'Observatoire de l'énergie de la Direction générale de l'énergie et des matières premières

26 Même document tableau 3.1 page 9.

En effet, depuis 3 ans la puissance éolienne nouvellement installée en France par an est de l'ordre de 1 000 MW pour environ 500 éoliennes. Compte tenu de ces évolutions, on peut estimer que le scénario tendanciel à 2030 est hautement plausible concernant la filière éolienne.

Les objectifs du Grenelle seront quant à eux atteints à condition que les parcs éoliens off-shore se développent fortement dans notre pays. Le premier appel à projets pour le développement de 3 000 MW éolien off-shore va dans ce sens, il est prévu la mise en place de 600 éoliennes sur 5 sites pour une mise en service en 2015.



En France, les objectifs du Grenelle de l'environnement ont fixé un total à développer de 25 000 MW dont 6 000 MW off-shore.

L'appel à projet portant sur la première tranche de 3 000 MW a été officiellement annoncé et sera lancé en mai 2011.

Les 5 sites français désignés sont St Nazaire, St Brieuc, Courseulles sur mer, Dieppe, le Tréport Fécamp,

## 4-Les Acteurs de la filière et leurs stratégies

### 4.1 – La chaîne de valeur dans l'industrie de l'éolien, revue du positionnement des acteurs

L'industrie de l'éolien s'insère au sein d'une chaîne de valeur plus vaste, liée à la nature de l'utilisation finale des grands aérogénérateurs qui ont pour vocation à être installés sous forme de parc, afin de produire de l'électricité reversée sur le réseau.

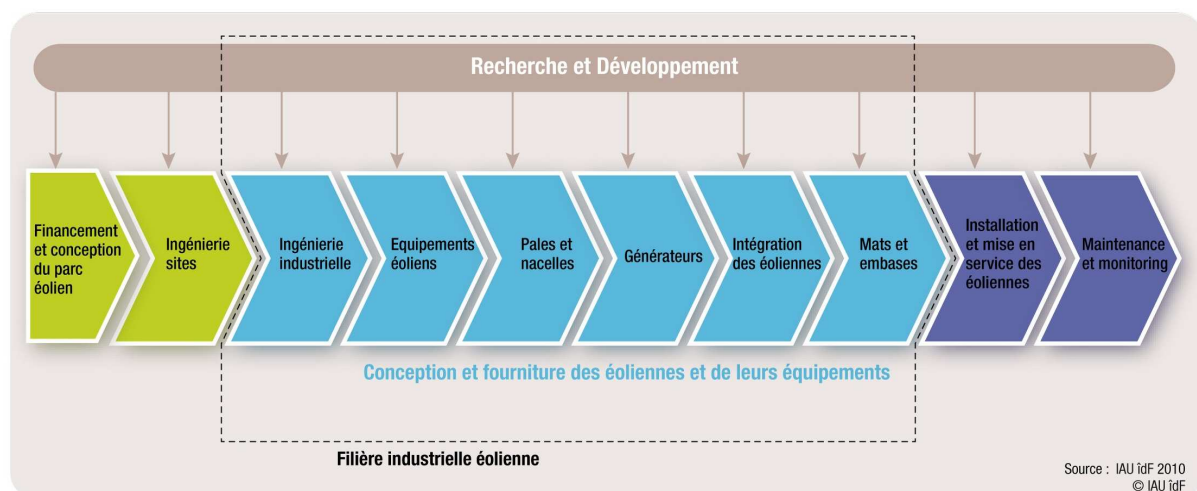
Ainsi, dans le cycle de vie de l'éolienne, interviennent en amont les activités de financement et de conception des parcs éoliens qui viendront accueillir les aérogénérateurs.

Interviendra ensuite la phase industrielle proprement dite puis une fois les éoliennes produites et livrées interviennent les phases d'installation et mise en service puis d'exploitation et de maintenance. Nous aurions pu ajouter à ce cycle la phase de démantèlement et de recyclage qui se met aussi en place.

L'ensemble de ces phases est irrigué par la recherche et développement

Les différentes étapes de la chaîne de valeur sont schématisées ci-dessous.

Schéma de la chaîne de valeur éolienne



#### Le financement et la conception du parc éolien

La demande d'équipement des fournisseurs d'énergie en éoliennes constitue le moteur de cette industrie. Cet équipement se matérialise sous forme de parcs éoliens exploités ou non par ces mêmes acteurs.

En amont de la filière intervient donc la décision de créer un parc éolien, avec ce que cela suppose comme ingénierie financière, d'étude et conception du parc et d'ingénierie des sites qui en découle.

A ce stade on trouve des développeurs de fermes éoliennes dont le cœur de métier consiste à trouver des sites et des financements pour créer voire gérer des fermes éoliennes en propre ou par délégation à l'image des sociétés Eole avenir développement en Ile-de-France ou Nass&Wind en Bretagne. Ces activités de développement de site sont aussi assurées par les acteurs de l'énergie (qu'ils soient fournisseurs d'électricité ou issus du secteur pétrolier et du gaz) qui agissent pour leur propre compte en rachetant parfois ces sociétés de développement à l'image d'EDF qui a racheté la branche développement éolien terrestre à Nass&Wind. Les acteurs du développement de parcs sont nombreux, on peut notamment citer EDF, GDF-Suez, Iberdrola, Enertrag, Shell, Total, Epuron ...

Parmi cette nébuleuse d'acteurs on trouve aussi des entreprises uniquement spécialisées dans la phase de financement qui là aussi peuvent être indépendantes et spécifiques à l'éolien mais qui très souvent sont issues de sociétés financières et interviennent indifféremment sur diverses familles d'ENR.

## Ingénierie des sites

L'emplacement du site est déterminé avec l'aide de bureaux d'études spécialisés. Les études portent sur la conception du parc, la mesure précise de la ressource éolienne (direction, force du vent), les prévisionnels de production d'électricité, et le choix des turbines qui en découle. Une étude géophysique ainsi qu'une étude d'impact sur l'environnement est aussi réalisée. Certains bureaux d'études proposent un service complet incluant tous les aspects juridiques voire des services d'ingénierie financière.

Ces sociétés sont presque exclusivement indépendantes afin de ne pas succomber à un quelconque conflit d'intérêt.

Une fois le site sélectionné, et le permis de construire déposé, intervient la commande des turbines avant la phase de mise en service.

Actuellement en France la première phase d'étude qui va de la détection du site au dépôt du permis de construire dure environ 18 mois, mais il faut au total 34 mois en moyenne<sup>27</sup> pour arriver à la mise en service, ce qui en fait le 5<sup>e</sup> pays européen le plus performant en termes de délais de mise en œuvre.

## La conception et la production des éoliennes

C'est le cœur de notre propos. Dans l'introduction générale nous avons eu un aperçu de la composition d'une éolienne, c'est en fonction de leurs compétences de base que les acteurs industriels de l'éolien se positionnent au sein de la chaîne de valeur industrielle.

En soutien, voire en amont des entreprises, les laboratoires de recherche publics qui travaillent sur des thématiques pouvant intéresser l'industrie éolienne sont contactés ou proposent leurs services sous forme de contrats de recherche ou de coopération. Ces recherches visent à aider les industriels à concevoir des produits ou services innovants et si possible obtenir une rupture technologique qui leur confèrera un avantage compétitif. Ici commence à proprement parler la filière industrielle de l'éolien. Ces organismes sont pour la plupart publics du fait du caractère fondamental de leur recherche, comme par exemple l'ONERA, et peuvent mener des travaux très en amont de la thématique éolienne sur des segments qui intéressent aussi potentiellement d'autres industries. On peut cependant aussi trouver des centres de recherche d'autres industriels n'intervenant pas forcément dans la filière mais travaillant sur des thématiques qui l'intéressent (matériaux, mécatronique, traitement de surface...).

Les **bureaux d'études technologiques** travaillent aux côtés des industriels dans la phase de développement de leurs produits, qu'il s'agisse d'éléments ou du système complet.

Les **fournisseurs d'équipements** apportent aux constructeurs les sous-ensembles ou pièces qui composeront in-fine l'éolienne, cette part est variable suivant la stratégie retenue par le constructeur dans son niveau d'intégration verticale.

Les fournisseurs peuvent être classés en deux grandes familles chacune composée de deux niveaux :

- Fournisseurs d'équipements mécaniques :
  - ✓ Les fournisseurs de sous-ensembles : freins, boîte de vitesse, moyeu du rotor, arbre de transmission, support de nacelle, système d'orientation de la nacelle (couronne d'orientation), système d'orientation des pales (pitch). Ce sont pour la plupart des entreprises issues du secteur de la mécanique et de la mécatronique... :
  - ✓ Les fournisseurs de pièces : systèmes de fixation, joints, roulements...
- Fournisseurs d'équipements électriques et électroniques :
  - ✓ Fournisseurs de sous-ensembles : régulateurs et contrôle interne, capteurs, systèmes parafoudre, convertisseur de puissance (convertit le courant continu produit en courant alternatif) et transformateur de puissance du courant pour connexion au réseau, systèmes de monitoring des éoliennes à distance...
  - ✓ Fournisseurs de pièces : câbles, contacteurs, composants électroniques...

---

<sup>27</sup> Selon l'étude « wind barriers : administrative and grid access barriers to wind power », EWEA, juillet 2010.

Parallèlement à ces fournisseurs on trouve des fournisseurs disposant de fortes compétences très spécifiques considérées comme clés pour la filière:

-les **constructeurs de nacelles** destinées à recevoir le cœur de l'aérogénérateur et les **constructeurs de pales**.

Ces derniers, spécialistes des matériaux composites, font l'objet de toutes les convoitises des intégrateurs, les savoir-faire en jeu sont stratégiques puisque c'est en grande partie au niveau des pales que doivent être relevés les défis de la course à l'accroissement de la puissance des éoliennes.

-Les **constructeurs de mâts et d'embases** (pièces métalliques enfoncées dans le sol sur lesquelles sera fixé le mât qui va soutenir l'éolienne) sont encore fréquemment des acteurs indépendants issus de l'industrie métallurgique et pour qui la fourniture de tubes constitue un débouché supplémentaire.

L'imposante masse et l'encombrement de ces pièces ont pour conséquence une production relativement plus proche des sites d'installation finale. Face à l'inflation des coûts des éoliennes, certains constructeurs utilisent des mâts en béton.

-Les **fournisseurs de générateurs** sont très souvent au cœur de la chaîne de valeur, la plupart des fournisseurs de générateurs se sont positionnés comme intégrateurs. Nombre d'entre eux fournissent d'autres segments de l'énergie (énergie hydraulique, générateurs de centrales à gaz ou au fioul...)



Production de mâts d'éoliennes, Le Creusot 2009, © CE

Les **intégrateurs d'éoliennes** conçoivent, testent, produisent et souvent assurent la maintenance des aérogénérateurs. Suivant la stratégie propre à chacun des constructeurs et leurs compétences de base, certains choisissent d'inclure une fraction plus ou moins importante des composants de l'éolienne que nous venons de citer. A côté des intégrateurs « pure players » comme Vestas ou Nordex on trouve de plus en plus fréquemment de grands groupes déjà fournisseurs de l'industrie hydraulique ou nucléaire, qui ont un important savoir-faire dans le domaine des générateurs électriques et qui proposent leur propre gamme d'éoliennes comme GE, Siemens, Alstom, Areva... Ces grands groupes ont souvent absorbé un ou plusieurs fabricants d'éoliennes « pure player » à l'image d'Areva avec l'allemand Multibrud ou Alstom avec l'espagnol Ecotechnia comme nous le détaillerons plus loin.

Ces derniers acteurs assemblent sur leurs sites de production les nacelles et l'ensemble des composants qui la composent, tandis que pour des raisons pratiques, l'assemblage des pales avec la nacelle et du mât avec la turbine ne s'opérera que lors de l'érection de l'éolienne sur son site d'exploitation.

Les étapes suivantes relèvent d'activités qui sortent du champ industriel proprement dit et donc du champ de notre étude, cependant nous souhaitons les mentionner pour donner une vision complète des acteurs impliqués dans la production, l'installation et la gestion des éoliennes.

### **La mise en service des éoliennes**

Une fois le projet monté, l'installation des éoliennes permet à de nombreuses entreprises du champ des travaux publics d'intervenir : terrassement et préparation des sols, réalisation des fondations, création des réseaux (voirie et réseaux électriques).



Interviennent ensuite des entreprises spécialisées dans le transport exceptionnel et le levage pour installer les éléments de l'éolienne (mâts, nacelles et pales). Suivent les spécialistes de la gestion de l'énergie (Forclum, ETDE, CEGELEC...) qui effectuent les raccordements des éoliennes au réseau ce qui inclue les postes de protection, de redressement...

Cette phase est localement mais temporairement génératrice d'emplois pour les sites sur lesquels sont déployés les éoliennes.



Chantier de levage d'une éolienne (crédit photo DDE/SUE/EDD)

L'installation des éoliennes fait appel à des matériels et compétences très spécifiques comme le transport exceptionnel pour des pales ou tronçons de mâts ou encore le levage d'une éolienne.



Transport de pales LM Windpower par camion, avec l'aimable autorisation de LM Windpower, [www.lmwindpower.com](http://www.lmwindpower.com)

### La gestion et maintenance des éoliennes

Cette dernière étape implique les sociétés de gestion, responsables du monitoring à distance de la production, de son bon fonctionnement et de sa maintenance. Ici encore le modèle est multiple et l'on peut trouver des sociétés indépendantes spécialisées dans ce type d'activités qui travaillent pour le compte des propriétaires. Dans ce cas ces sociétés tirent leur rémunération de contrats fixes, elles peuvent aussi prendre en charge le risque en tirant leur revenu de la revente de l'électricité au réseau et en reversant une redevance fixe au propriétaire.

Avec l'arrivée massive des groupes énergétiques dans le champ des ENR, cette gestion est de plus en plus fréquemment effectuée en interne.

La phase de maintenance assurée par les constructeurs qui dispose d'équipes dédiées est aussi localement génératrice d'emplois souvent regroupés en pôles ayant plusieurs régions sous leur responsabilité (voir à ce sujet la section sur l'emploi de l'éolien p 51)

Notre analyse du tissu francilien et de son potentiel portera essentiellement sur les acteurs industriels, les centres de recherche et les sociétés d'ingénierie qui conseillent les industriels dans leurs développements.

Cependant nous mentionnerons pour mémoire les acteurs franciliens intervenant au niveau de la phase d'installation et de raccordement des éoliennes qui apparaîtront aussi sur la cartographie.

## 4.2-La répartition des coûts au sein de la chaîne de valeur éolienne.

Une rapide analyse de la répartition des coûts au sein de la chaîne de valeur apporte des éléments de compréhension du positionnement des acteurs. Le poids de la turbine reste largement majoritaire dans le cadre de l'économie globale d'un projet de parc éolien. Au sein des coûts internes d'une turbine, on relève le poids important des pales et du mât.

### 4.2.1-Le poids de la turbine au sein de la chaîne de valeur totale

Une étude réalisée à la demande de l'EWEA et portant sur l'économie de l'énergie éolienne indiquait que le coût du MW installé dans le cadre de la création d'un parc standard muni d'éoliennes de 2 MW en Europe s'élevait à 1,227 million d'euros pour l'année 2006.

En 2008, le MW éolien installé se facture environ 1,6 million d'euros. Ce prix est en hausse du fait de l'inflation du prix des matières premières et du prix des turbines.

La valeur de la turbine est centrale dans la chaîne de valeur totale de l'éolien (de la production à l'installation et exploitation), celle-ci représente en effet plus de 75% du coût.

#### Structure de coût d'une turbine de 2 MW installée on-shore en Europe (en 2006)

Poste de coût	Part du coût total du projet (%)
Turbine (hors travaux)	75,6
Connexion réseau	8,9
Fondations	6,5
Location du site	3,9
Installations électriques	1,5
Conseil	1,2
Coûts financiers	1,2
Construction des routes	0,9
Systèmes de contrôle	0,3
Total	100

Source : « The economics of wind energy » EWEA, mars 2009.

Ceci ne constitue qu'une valeur moyenne, le poids de la turbine dans le coût total de réalisation d'un parc éolien variant selon divers paramètres. La puissance de la turbine influe à la hausse, tandis que l'installation en terrain difficile voire off-shore fera grimper la part des coûts liés à la mise en œuvre (installation, fondations, installations électriques voire création de réseaux routiers notamment).



Matthieu Riegler, Wikimedia Commons

Une fondation d'éolienne en béton avec son embase pour fixation du mât

Les fondations des éoliennes représentent en moyenne 6,5% du coût total d'une ferme éolienne. Cependant en milieu difficile ou en off-shore cette part peut atteindre 21%, voire près de 60% pour des terrains sous-marins très difficiles ou particulièrement profonds<sup>28</sup>.

<sup>28</sup> Cas d'une implantation à 50m de fond en région Languedoc Roussillon cité par l'étude « coef » réalisée par SAIPEM en 2004

Dans le cadre de l'éolien off-shore, en prenant exemple sur les fermes danoises de Horns Rev, le poids du coût de la turbine régresse à moins de 50%. Cette baisse s'explique en partie du fait de la taille des éoliennes qui est en moyenne de 3 MW en mer avec de nouvelles installations à 5 MW contre 2 MW en moyenne à terre avec un maximum de 3 MW, ce qui contribue à réduire le coût moyen du MW. Parallèlement d'autres postes de dépense progressent fortement avec notamment celui des fondations qui est multiplié par 3 et passe en seconde position à 21%. Cette part peut même atteindre 50% en terrain sablonneux et en grande profondeur.

Du fait de l'obligation de tirer des câbles sous-marins le poids de la connexion au réseau double par rapport au cas d'éoliennes sur terre, Dans le cas présenté, le coût au MW est de près de 1 700 € (soit +40% par rapport à un projet terrestre standard en valeur 2006). En 2011 le coût off-shore du MW est de l'ordre de 3 à 4000€ par MW pour les projets en cours.

### Structure de coût moyen par MW des fermes éoliennes off-shore de Horns Rev et Nystedin en Europe (en 2006)

Poste de coût	Part du coût total du projet (%)
Turbine (incluant transport et mise en place)	49
Fondations	21
Station de transformation et câble principal vers la côte	16
Conception et gestion de projet	6
Connexion réseau interne entre éoliennes	5
Analyse environnementale	3
divers	<1
<b>Total</b>	<b>100</b>

Source : « The economics of wind energy » EWEA, mars 2009.

## 4.2.2-Répartition des coûts au sein de la turbine

Si l'on resserre notre analyse sur le cœur de la filière industrielle de l'éolien, à savoir les turbines, on constate que la répartition du coût au sein d'une éolienne fait apparaître une large prédominance du mât et des pales. On peut s'étonner de voir ces éléments figurer en tête devant par exemple des éléments mécaniques complexes ou le générateur qui constitue pourtant le cœur de métier de nombreux groupes fabricant des éoliennes.

Cependant les mâts comme les pales sont chacun, sur un registre différent, des éléments essentiels et très spécifiques de l'éolienne ayant un caractère technique très avancé. Le mât qui atteint désormais des hauteurs de 70 à 100m doit pouvoir supporter la turbine tout en résistant aux vents que l'on espère relativement forts. Seules quelques entreprises de la métallurgie sont en capacité de fabriquer de tels éléments, ce qui contribue à tirer les tarifs vers le haut. C'est d'ailleurs pour cette raison que certains constructeurs d'éoliennes cherchent à utiliser des mâts en béton, beaucoup moins chers. Dans l'exemple cité ici, le mât représente plus du quart du coût total de l'éolienne.

### Principaux composants d'une turbine et leur part dans le coût total

Principaux éléments d'une turbine	Part
Mât	26,3%
Pales	22,2%
Boîte de vitesse	12,91%
Convertisseur de puissance	5,01%
Transformateur	3,59%
Générateur	3,44%
Support de nacelle	2,80%
Système d'orientation des pales	2,66%
Arbre de transmission	1,91%
Axe du rotor	1,37%
Nacelle	1,35%
Système de freinage	1,32%
Système d'orientation de la nacelle	1,25%
Support du rotor	1,22%
Ecrous	1,04%
Câbles	0,96%

Exemple d'une turbine de 5 MW de chez Re-power avec des pales de 61,5m et un mât de 100m pour usage off-shore (valeur 2007<sup>29</sup>).

Source : « The economics of wind energy » EWEA, mars 2009.

<sup>29</sup> Selon le site thewindpower, le coût moyen du MW sur le site danois off-shore de Horn Rev était de 1,650 Million d'Euros par MW pour des machines d'une puissance de 2MW, ce qui aboutirait à un coût du MW de 825 000 € pour la seule turbine.

Les pales constituent le second poste de coût. Ce poste ne fait que progresser à mesure que les éoliennes gagnent en taille, ce qui a pour conséquence de complexifier les technologies mises en jeu. En effet, face au défi d'éléments pouvant atteindre désormais 61,50 m, soumis à de fortes contraintes mécaniques et dont le poids ne doit pas significativement progresser, la solution des matériaux composites a été choisie par les constructeurs. Cette solution offre des performances intéressantes mais a pour contrepartie des coûts importants.

Ces éléments permettent de mieux comprendre pourquoi les constructeurs de pales et de mâts ont pu rester relativement indépendants dans une filière par ailleurs soumise à une intégration verticale croissante.

Les boîtes de vitesse ou réducteurs entrent pour près de 13% dans le coût d'une turbine selon notre exemple, c'est presque 3 fois supérieur au poste suivant du convertisseur de puissance. Les éoliennes à attaque directe sans multiplicateurs ne sont bien sûr pas concernées par ce poste de coût.

On repère dans ce classement le niveau relativement élevé dans l'échelle des coûts des équipements électriques (convertisseurs de puissance et transformateurs) qui apparaissent respectivement en 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> position et représentent dans notre exemple en cumul 8,6 % du total.

Le générateur ne représente que 3,6% du coût total de la turbine soit le 6<sup>e</sup> poste de coût.

Viennent ensuite tout un ensemble de sous-ensembles représentant chacun moins de 3% du total dont la majorité relève de la mécanique et de la métallurgie.

On voit à ce titre tout l'intérêt pour les entreprises de la mécanique de se positionner sur ce marché des turbines éoliennes. Au total les ensembles et sous-ensembles mécaniques (boîte de vitesse, systèmes d'orientation des pales et de la nacelle, système de freinage, support de nacelle, arbre de transmission) représentent près du quart du coût d'une éolienne selon notre exemple.

## 4.3- Parts de marché des principaux constructeurs mondiaux

La filière de l'éolien est très concentrée, avec quelques intégrateurs qui dominent largement le marché. Cette concentration se renforce et on ne comptait en 2010 que 55 constructeurs dans le monde contre 82 dix ans plus tôt. En 2009, les dix premiers constructeurs mondiaux représentaient 82% du marché mondial, tandis que les 5 premiers détenaient 52% du marché mondial.

Les acteurs européens restent encore bien positionnés puisqu'ils occupent au moins 40% du marché, tant au niveau de la production d'éoliennes que de la fourniture d'ensemble et de pièces.

Cependant cette concentration s'est atténuée, avec l'arrivée en force de nouveaux entrants, principalement d'origine asiatique et au détriment des industriels occidentaux, notamment européens.

La concurrence s'avive entre fournisseurs avec l'arrivée en force de l'Inde, avec Suzlon 5<sup>e</sup> producteur mondial, et surtout des producteurs chinois qui bénéficient d'une très forte croissance de leur marché intérieur et détiennent collectivement désormais au minimum 22,4% du marché mondial. Sinovel serait à ce titre devenu en 2010 le second producteur mondial devant GE Wind et figurerait ainsi dans le top 10 mondial avec 3 autres de ses confrères.

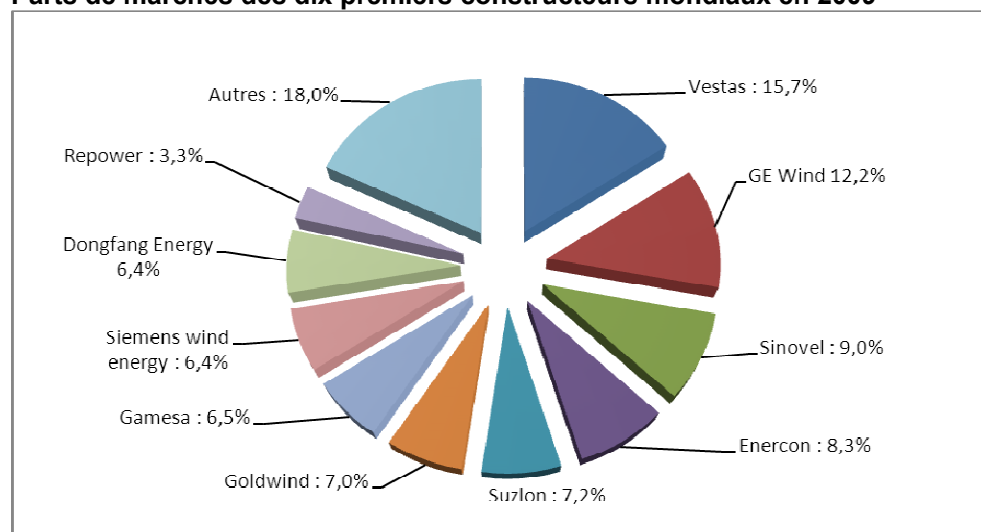
Par ailleurs, la forte progression de l'éolien off-shore contribue à déformer les termes de la concurrence en faveur des acteurs les mieux positionnés sur ce créneau ou encore favorise l'arrivée de nouveaux entrants ayant une forte spécialisation dans l'off-shore, alors que ce marché est appelé à représenter en Europe de l'ordre de 4 000 MW par an d'ici 2020 et 11 000 MW entre 2020 et 2030.

### Principaux constructeurs mondiaux d'éoliennes en 2009

Entreprise	Pays	MW fournis en 2009	Part de marché en 2009	CA en 2009 en M€	Salariés en 2010
Vestas	Danemark	6 131	15,7%	5 079	23 252
GE Wind	USA	4 741	12,2%	nd	3000*
Sinovel	Chine	3 510	9,0%	nd	2 000
Enercon	Allemagne	3 221	8,3%	3 600	12 000*
Suzlon	Inde	2 790	7,2%	3 334	16 000
Golwind	Chine	2 727	7,0%	nd	1 500
Gamesa	Espagne	2 546	6,5%	nd	6 300
Siemens	Allemagne	2 500	6,4%	3 272	7 000
Dongfang windenergy	Chine	2 475	6,4%	nd	nd
Repower	Allemagne	1 297	3,3%	1230	2 200
Autres		7 033	18,0%		
<b>Total</b>		<b>38 971</b>			

Source : Eurobserv'ER, \*compléments par sites des constructeurs

### Parts de marchés des dix premiers constructeurs mondiaux en 2009



Source : Eurobserv'ER 2011

## 4.4- Les principaux acteurs industriels de l'éolien, éléments de stratégies en matière de localisation et d'investissements<sup>30</sup>

L'industrie éolienne, comme toute industrie va d'abord là où les marchés la portent. Cela est d'autant plus vrai qu'en tant qu'industrie lourde, avec certains composants pouvant être difficiles et chers à transporter, l'industrie éolienne tend à rapprocher ses sites de production des sites d'installation. Ainsi, les principaux constructeurs installent-ils des usines ou rachètent des entreprises leur offrant des sites de production en dehors de leur pays d'origine à la fois pour pénétrer les marchés qu'ils ciblent et obtenir plus facilement des marchés basés sur appels d'offres, mais aussi obtenir des technologies clés et réduire les coûts d'acheminement. Dans le cas des implantations en Chine ou en Inde s'ajoute la possibilité de bénéficier de coûts de production abaissés. Cette extension des sites de production est particulièrement notable pour des pièces de très grande dimension comme les pales (jusqu'à 50m de long l'unité) ou les mâts. Elle s'observe pour les industriels occidentaux qui produisent en partie en Asie, mais aussi désormais pour les industriels asiatiques qui commencent à investir dans les pays occidentaux.

Les quelques exemples suivants de stratégies de grands groupes actifs en Europe illustrent cette tendance des industriels de l'éolien à déployer leur appareil industriel en dehors de leur pays d'origine en investissant prioritairement les pays ayant une expertise dans le domaine et/ou un marché en croissance.

### Les constructeurs d'éoliennes

Le danois **Vestas** est le premier fabricant européen et mondial en 2008. L'année 2009 a marqué une forte chute de ses ventes mais l'entreprise prévoit de retrouver un niveau d'activité de 8000 à 9000MW en 2010, ce qui devrait le maintenir en première position mondiale. Vestas est une entreprise intégrée qui maîtrise l'ensemble des composants de la turbine, y compris les pales et les mâts. Il est le leader européen de l'off-shore avec 40% de parts de marché. L'entreprise dispose d'unités de production au Danemark, sa base originelle, et a développé des sites de production en Europe (Allemagne, Norvège, Suède, Espagne, Italie), ainsi qu'un centre de test en Espagne et un centre de R&D off-shore en Angleterre. L'entreprise est aussi présente aux USA, en Inde (production et R&D) et en Chine (production). Ses effectifs sont passés de 12 300 à près de 21 000 salariés entre 2006 et 2009. Mais face à la baisse d'activité de 2009 surtout marquée en Europe, Vestas a licencié 3 000 employés dont 1150 au Danemark, fermant plusieurs usines dans ce pays mais aussi en Suède et au Royaume-Uni. Parallèlement Vestas a prévu d'ouvrir 4 sites de production aux Etats-Unis, ce qui doublera les emplois sur ce continent avec 4 000 postes. De même il va fortement augmenter ses capacités de production en Chine et prévoit d'en faire autant en Inde. Enfin Vestas souhaite accompagner la forte progression du marché off-shore européen.

Le danois **Nordex**, mène depuis 2000 une politique d'expansion de sa production en direction des principaux marchés : l'Espagne en 2000, la Chine avec 3 opérations en 2005, 2006 et 2007, le Royaume Uni en 2007 et les Etats-Unis en 2008. L'entreprise comptait 1 000 salariés en 2006 et environ 2 200 en 2009.

**Enercon** domine nettement son marché intérieur, l'Allemagne, avec 60% de parts de marché en 2009. Le numéro 1 allemand originellement basé dans le land de Basse-Saxe est très présent sur l'ensemble des marchés européens dont la France qui est un de ses deux principaux marchés européens et dont il occupe la première place avec près de 33% des ventes en 2009. L'entreprise a développé des sites de production en Suède, au Portugal, en Turquie et au Brésil et prévoit de créer un site de production de mâts en France dans l'Oise. Enfin il a créé un centre de test au Royaume-Uni. Enercon a ainsi créé 4 000 emplois en 4 ans passant de 8 000 à 12 000 salariés entre 2006 et 2009.

---

<sup>30</sup> Principales Sources mobilisées pour ce chapitre : « International investment strategies & key investors study » Oxford intelligence 2008 ; « le baromètre de l'éolien » Euroserv'Er, mars 2010 ; sites des constructeurs.

**Siemens** le constructeur allemand s'est installé sur le marché de l'éolien en rachetant le danois Bonus pour créer Siemens Wind. Siemens est très actif sur le marché américain (3<sup>e</sup> fournisseur en 2008) où il a créé un centre de R&D en 2008, un an après y avoir créé une usine de pales.

Il dispose aussi d'une position dominante sur le marché britannique (plus de 50% de parts de marché en 2008). Fort de son expérience dans l'off-shore, Siemens mise sur le fort développement du marché britannique (32 GW prévus d'ici 2020) pour progresser dans la hiérarchie des constructeurs mondiaux. Siemens a prévu de créer une usine d'assemblage en Grande-Bretagne avec 700 emplois directs. L'allemand poursuit une croissance soutenue avec la création de trois nouvelles usines, une usine de pales en Chine (Shanghai), une usine de production de nacelles aux USA (Kansas), une usine de pales au Canada (Ontario) et annonce déjà la construction de nouveaux sites de production en Inde et en Chine, ainsi qu'en Russie par une joint-venture. Cette forte croissance a permis à Siemens Wind de passer de 2 300 emplois en 2006 à 5 500 en 2009.

L'allemand **REpower** avait ouvert des usines en France, au Royaume Uni et en Chine dès 2003 puis une autre au Portugal en 2005 avant sa prise de contrôle à hauteur de 91% par l'Indien **Suzlon** en 2008. Ce dernier, devenu entre-temps 4<sup>e</sup> producteur mondial, avait créé son centre de R&D Europe en Allemagne en 2006, puis étendu ses implantations industrielles en Belgique et en Allemagne en 2008, la même année que son rachat de l'allemand REpower systems. A côté de ces fortes positions en Europe, Suzlon leader sur le marché indien est devenu le 4<sup>e</sup> fournisseur du marché américain avec 8% de parts de marché en 2008.

**Ecotecnia** intégré à Alstom en 2007 produit uniquement en Espagne où se trouve aussi son centre de R&D. Ecotecnia compte environ 800 salariés.

**Gamesa**, l'espagnol, s'appuie lui aussi sur sa forte position sur son marché domestique (35% du marché espagnol en 2009) pour vendre ses équipements en Europe (Italie, France, Portugal et Roumanie). A partir de sa base espagnole il a étendu ses activités productives au Portugal en 2003.

Ses plus importants marchés se trouvent cependant aux Etats-Unis avec un site d'assemblage en 2005 et une usine de pales en 2006 et en Chine en 2006 et 2008 où il s'est implanté avec deux sites de production. Il prévoit l'ouverture prochaine d'un site de production en Inde dont il a commencé la construction. Dans le domaine de l'off-shore, Gamesa s'est allié avec l'américain Northrop Grumman Shipbuilding pour améliorer sa technologie et mieux pénétrer le marché britannique.

Dans ce but Gamesa prévoit d'ouvrir un centre de R&D et un site de production de pales au Royaume-Uni à côté d'un centre de test créé en 2004. Gamesa comptait 7 200 salariés en 2009 contre 5 400 en 2006.

L'américain **GE Wind**, second producteur mondial en 2009, s'appuie sur une très forte position sur son marché national avec 40 à 45% de part de marché pour jeter les bases d'une expansion mondiale en obtenant des contrats sur les marchés en forte expansion en Europe (République Tchèque et Roumanie) mais surtout la Chine, avec un contrat de fourniture de 895 turbines de 1,5MW et l'Inde où il a décidé de construire une nouvelle usine pouvant fournir 300 unités par an. GE Wind a aussi montré son nouvel intérêt pour l'off-shore en rachetant en 2009 le dernier constructeur norvégien indépendant Scanwind. En plus de ses sites états-uniens, GE Wind dispose de sites de production en Allemagne, Norvège (les sites de Scanwind) en Chine et au Canada. Devant les importantes perspectives de développement de l'off-shore, GE Wind a annoncé en mars 2010 l'extension de ses sites de test norvégien, suédois et allemand. Le plus gros investissement concernera le Royaume-Uni où il créera son usine d'assemblage d'éoliennes off-shore pour l'Europe basée sur la technologie *gearless* de Scanwind, autour de laquelle s'installeront ses fournisseurs (mâts, pales, nacelles...). Ce dernier projet générera 2 000 emplois à l'horizon 2020.

En Chine on compte 18 fabricants majeurs d'éoliennes dont 4 figurent déjà dans le top 10 mondial (**Goldwind** fondée en 1998, **Sinovel**, **Dongfang windenergy** et **Guandong Mingyang**). Selon les derniers éléments disponibles pour 2010, Sinovel s'est hissé à la seconde place des producteurs mondiaux, porté par la formidable expansion du marché chinois dont il est devenu le premier fournisseur. Sinovel ambitionne de devenir le premier producteur mondial à l'horizon 2015. Il paraît très probable qu'à terme la Chine devienne le principal producteur d'éoliennes au monde tant par la production de ses entreprises nationales que par celle des entreprises étrangères installées sur son sol.

Le cabinet danois BTM estime pour sa part que les sud-coréens **Hyundai, Samsung et Daewoo** qui viennent d'annoncer leur arrivée sur le marché de l'éolien pourraient venir accentuer les bouleversements en cours en rejoignant les dix premiers mondiaux d'ici trois à quatre ans.

Cette arrivée en force des producteurs asiatiques pourrait conduire les producteurs occidentaux à accélérer leur concentration, notamment pour accroître leur puissance en matière de R&D.

En France il n'y a plus de constructeur de grandes éoliennes après le retrait de Jeumont industries (groupe Areva), avec la cessation de sa production d'éoliennes en 2005.

La France compte désormais une seule entreprise assurant la construction et l'assemblage de ses turbines sur le territoire national : **Vergnet**. L'entreprise basée en région Centre près d'Orléans est positionnée sur le marché de la moyenne puissance, avec une spécialité sur les éoliennes cycloniques. Sa part de marché cumulée à la fin 2009 sur le marché français était de 1,7%.

Une autre entreprise de construction d'aérogénérateurs vient d'être créée en 2010, elle se nomme **Alizéo**. L'entreprise se positionne sur les moyennes puissances, avec une spécialisation sur des modèles rabattables. Alizéo a récemment repris le groupe FCI basé à Lons le Saunier (39) spécialisé dans la chaudronnerie lourde. Le site aura en charge la réalisation du système de rabattement de l'éolienne dans son intégralité tandis que les aérogénérateurs seront produits soit en France sous licence Jeumont, soit en Finlande par le constructeur Winwind.

A ces constructeurs français basés en France, il faut ajouter l'espagnol **Ecotecnia** qui a rejoint le groupe Alstom en 2007 pour former **Alstom Wind power** au sein de la division power, ainsi que l'allemand **Multibrid** spécialisé dans l'off-shore, au capital duquel Areva est devenu majoritaire en 2007 pour former **Areva Wind**. Cependant ces deux entreprises concentrent encore toute leur activité dans leur pays d'origine.

Alstom Wind qui souhaite entrer dans le top 10 mondial des constructeurs à très court terme a cependant décidé de construire deux nouveaux sites de production, l'un au Brésil et l'autre aux Etats-Unis, à côté de son site historique espagnol. Par ailleurs, le français se positionne sur l'off-shore avec le développement d'une turbine de 6MW qui sera commercialisée en 2012 et pour laquelle il construira en Europe un site de production dédié.

### **Les fournisseurs de sous-ensembles**

En dehors des constructeurs qui intègrent tout ou partie de leurs équipements, la filière s'appuie sur des entreprises indépendantes qui fournissent des sous-ensembles aux constructeurs de turbines.

Les principaux équipementiers indépendants sont des fournisseurs de nacelles, de mâts, de boîtes de vitesse, de générateurs et de pales.

Ces derniers comme on l'a vu précédemment ont de plus en plus de difficulté à poursuivre leur activité ou demeurer indépendants.

Les principaux équipementiers mondiaux actifs en Europe sont<sup>31</sup> :

-Pour les pales : le danois LM Glasfiber (devenu LM Windpower), les allemands Euros, Prokon nord et SGL, les néerlandais Polymar, Ngup rotor blade, General Blade technology, l'espagnol Aeroblade

-Pour les multiplicateurs : le belge Hansen, les allemands Bosch Rexroth, Zollern, Renk, Winergy, Eickhoff, le finlandais Moventa gears

-Pour les mâts : les allemands SIAG, Reuther, Ambau, Seeba, Famaba ou encore Fuhrländer, le néerlandais ATS, l'italien Leucci,

-Pour les générateurs : le français Converteam, l'espagnol Ingeteam, les allemands Weier, Vem et NtN, le Suisse ABB, l'autrichien Elin EBG, le finlandais The Switch.

---

<sup>31</sup> Selon le magazine Sun&wind magazine mai 2009



Parmi ces fournisseurs indépendants, l'exemple du Danois **LM Glasfiber (devenu LM Windpower)** est remarquable. Producteur de pales pour aérogénérateur ainsi que de freins, il a multiplié les investissements étrangers depuis 2001 pour atteindre une dimension globale. Il dispose désormais d'une présence sur tous les continents et les principaux marchés. Cette forte expansion internationale a pris la forme de centres de R&D aux Pays-Bas et en Inde et de sites de production en Inde (1), Pologne (1), Canada (1), Espagne (1), Chine (4) et USA (2). Ses effectifs sont de 4 700 salariés fin 2009.



Pales en attente d'être achevées, site LM Wind Power, Qinhuangdao, Chine

Photo: Avec l'aimable autorisation de LM Wind Power, [www.lmwindpower.com](http://www.lmwindpower.com)

En France, au niveau des équipementiers indépendants, on compte plusieurs acteurs de premier plan, avec des domaines d'excellence dans les générateurs, les pales, les rotors ou encore les couronnes utilisées pour l'orientation des nacelles et des pales...

Les principaux acteurs français sont :

-Générateurs : Converteam Leroy Somer

-Systèmes mécaniques : CMD (engrenages), SIME et ATV (freins), Rollix Defontaine et Oratech (couronnes d'orientation)

-Pales : ATV, EADS-Plastinov

-Mâts : PetitJean SA, Eole Industrie, Eiffel constructions métalliques, Baudin Chateauneuf

-Conversion d'énergie : Schneider electric ainsi que Converteam

-Fondations spéciales : Spie fondations pour l'ingénierie des sites et la réalisation des fondations,

-Enfin, Cegelec et Areva T&D interviennent au niveau de la connexion au réseau et du monitoring de la production.

A côté de ces acteurs, il existe de nombreux autres fournisseurs de pièces et équipements moins spécifiques qui ne figurent pas sur la carte page suivante.

## 4.5- Géographie de l'industrie éolienne en France

La géographie des principaux sites industriels éoliens fait apparaître une relative concentration dans un quart nord-est du pays où se trouvent aussi les deux seuls fabricants français d'éoliennes avec Vergnet dans la région centre et Alizéo en Franche-Comté. Ce dernier est un nouvel entrant qui assemble ses machines dans le Jura, dans une région qui dispose en outre d'un important savoir-faire dans le domaine de la fabrication de générateurs à Belfort.

Les autres activités présentes en France relèvent principalement de la fabrication de mâts (activités métallurgiques), mais aussi de la mécanique (réducteurs, freins, couronnes d'orientation) de la production de pales (entreprises spécialisées dans les matériaux composites) et dans celle de générateurs.

Plusieurs pôles de compétitivité revendiquent une activité dans l'éolien sans toutefois que cette thématique soit significative dans leurs actions. En revanche plusieurs clusters locaux se sont structurés autour de la thématique éolienne en tant que fournisseurs de pièces et équipements :

-Le pôle éolien Lorrain

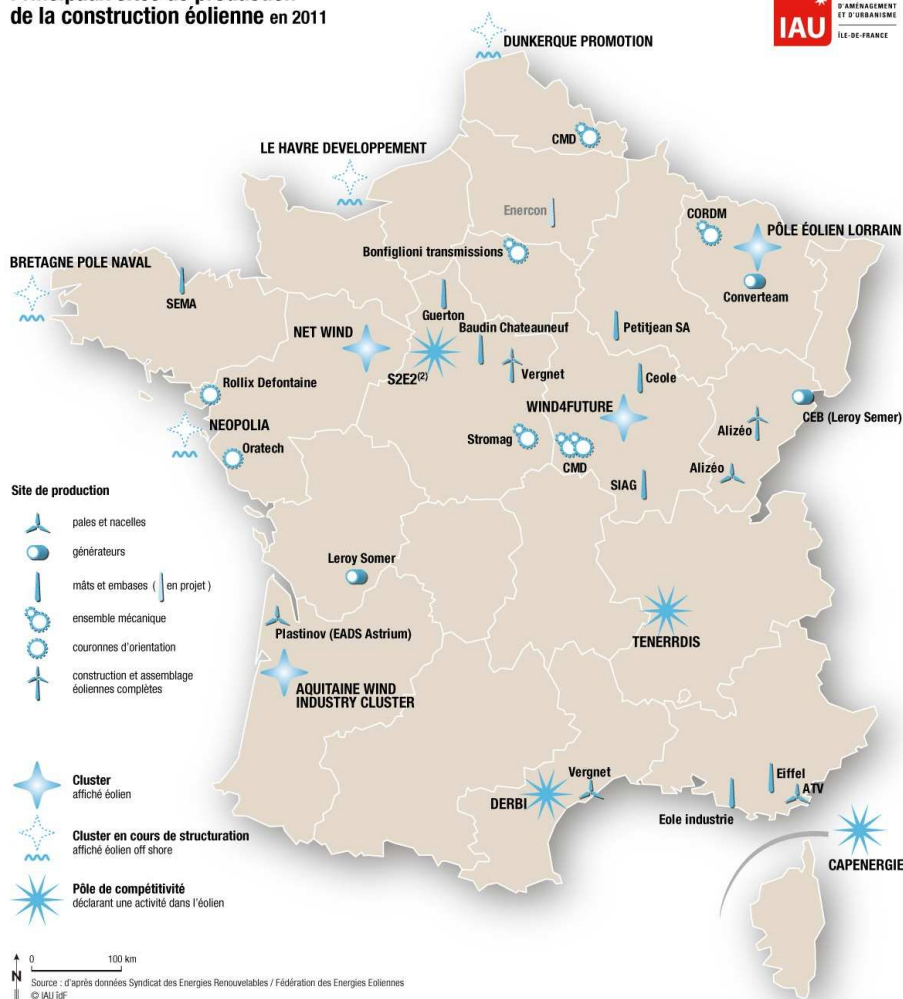
-Win4 future en Bourgogne

-Aquitaine Wind industry

Un pôle s'est formé en région Pays de la Loire autour de la thématique de la maintenance de parcs.

Enfin 4 pôles dédiés à l'off-shore sont en phase d'émergence et souhaitent se positionner comme sites de production et d'assemblage des futures éoliennes devant équiper les sites français voire européens. Ces pôles seront analysés plus en détail dans la partie portant sur le benchmark des actions locales en page 81.

**Principaux sites de production de la construction éolienne en 2011**



## 4.6-Structuration de la filière, Stratégie et jeux d'acteurs<sup>32</sup>

Alors que les spécialistes de l'éolien dominaient la filière jusqu'en 2004, avec principalement des constructeurs d'éoliennes et des développeurs de fermes, de nouveaux entrants ont modifié le rapport de force existant. On compte désormais trois groupes d'acteurs : les industriels, les producteurs d'électricité et les groupes pétroliers.

-Les industriels producteurs et assembleurs, qui sont essentiellement des grands groupes ayant de fortes compétences dans les turbines, ont investi le marché en rachetant des spécialistes de l'éolien. Ainsi l'américain General Electric a racheté en 2002 Enron Wind, puis le dernier spécialiste indépendant de l'off-shore norvégien Scanwind en octobre 2009, et l'allemand Siemens a acheté le danois Bonus en 2004 pour former sa division Siemens Wind Power dont il a rapatrié le siège à Hambourg. Du côté français Alstom a racheté l'espagnol Ecotecnia, tandis qu'Areva absorbait l'allemand Multibrid spécialiste de l'off-shore. Ces grands groupes recherchent une intégration verticale amont complète afin de consolider et sécuriser l'ensemble de leurs approvisionnements, de capter une part croissante de la valeur ajoutée (voir le chapitre sur le coût d'une éolienne) et de faire face aux problèmes de qualité qui ont marqué la filière ces dernières années. Ainsi pour ces groupes, la maîtrise de la technologie des pales est cruciale, c'est pour cette raison que Vestas, Siemens Wind Power, Nordex, Gamesa ou encore General Electric Energy se sont dotés de leurs propres capacités de fabrication de pales afin d'assurer leur approvisionnement et de contrôler les technologies de conception des composants critiques.

Les fournisseurs spécialisés (fournisseurs de pales, mais aussi de mâts et d'éléments mécaniques comme les réducteurs et boîtes de vitesse), qui réussissent à garder leur indépendance et tenir le marché grâce à des savoir-faire spécifiques, sont les premières victimes de ces stratégies d'intégration verticale ou d'internalisation d'activités. Ils rencontrent des difficultés croissantes, avec un marché qui se rétrécit ce qui menace jusqu'à leur indépendance. Ces fournisseurs spécialisés cherchent cependant à se libérer de l'emprise de ces grands groupes en se tournant vers les nouveaux acteurs entrant sur le marché, principalement ceux issus de l'Asie, notamment de l'Inde.

De leur côté, les grands groupes qui poursuivent leur consolidation pas à pas deviennent des donneurs d'ordres à l'image de ce qui s'est opéré dans l'automobile ou l'aéronautique.

Ces grands groupes vont même plus loin que la seule intégration industrielle en investissant l'aval de la filière, en proposant une offre qui s'étend à la conception de parcs éoliens à leur installation, leur mise en service et leur entretien. Quelques groupes assurent même en propre l'exploitation des éoliennes en se positionnant in fine en producteur d'électricité, en concurrence directe avec les producteurs traditionnels :

-Les producteurs d'électricité de la filière éolienne étaient à l'origine de petites structures indépendantes et locales. Désormais, de gros producteurs d'électricité ont investi le marché (comme EDF ou GDF-Suez en France) avec pour conséquence une forte dualisation des acteurs, d'un côté de nombreux petits acteurs et de l'autre une montée en puissance de développeurs gestionnaires qui proposent des projets clef en main à des investisseurs. Ces développeurs exploitent souvent les parcs pour le compte de leurs investisseurs et deviennent de véritables groupes de production électrique pour lesquels l'éolien fait partie de leur portefeuille avec d'autres sources d'énergie. Les politiques tarifaires et notamment l'instauration de tarifs de rachat a contribué à l'explosion de ce type d'acteurs, comme en France où EDF est obligé de racheter l'électricité produite par ces acteurs à un tarif garanti. Cette explosion du nombre de producteurs d'électricités devrait cependant atteindre des limites et il faut s'attendre à des consolidations dans ce secteur.

- Les pétroliers sont de plus en plus conscients de la nécessité de préparer l'après pétrole ou du moins de celle de diversifier leur portefeuille d'activité. Ils se tournent de manière croissante vers les ENR et en particulier l'éolien. Leur stratégie consiste à devenir des fournisseurs d'énergie sur l'ensemble du bouquet énergétique disponible. Ces grands groupes à l'instar de Shell, BP ou Total disposent d'une surface financière importante qui leur permet de mettre sur pied une infrastructure de production conséquente. Ces acteurs ont aussi d'importantes compétences dans les technologies off-shore (en mer) grâce aux forages sur plate-forme, ce qui leur procure un avantage dans le domaine

---

<sup>32</sup> Une partie des informations développées ici sont issues de l'article « la filière éolienne » écrit par Denis Florin et Florian Temime, consultants en management à Bearing Point et paru dans la revue Futuribles de juin 2008.

des éoliennes off-shore. Hormis Shell, l'implication des groupes pétroliers n'est pour le moment pas encore importante dans l'éolien et les ENR en général au regard du chiffre d'affaire réalisé dans leur cœur de métier à savoir le pétrole, le gaz ou le charbon.



Photo crédit : EWEA/Shell

Les industriels ont pour l'essentiel réalisé l'intégration verticale à leur profit sur la partie amont. Ils sont tentés par l'intégration aval jusqu'à l'exploitation en vue de s'assurer des revenus stables à côté des revenus plus volatils tirés de la fourniture des aérogénérateurs. Parmi les industriels qui domineront, il faut s'attendre à voir figurer ceux qui auront su développer un avantage comparatif technologique par exemple dans l'off-shore, ce qui passera nécessairement par des alliances avec les acteurs du secteur pétrolier comme on le voit déjà avec l'alliance Saipem, DCNS et Scanwind (GE windenergy). Il faut aussi s'attendre à voir se structurer de grands groupes exploitants qui auront une forte capacité de négociation face aux distributeurs d'électricité traditionnels et les pouvoirs publics. Pour le moment il est difficile de dire quel groupe d'acteurs dominera la filière éolienne.

## 5- Les emplois de l'éolien

### 5.1- Les emplois de l'éolien actuels et perspectives

Selon l'IEA, les industriels de l'éolien emploient directement 400 000 personnes à travers le monde, le chiffre de 500 000 serait désormais avancé pour 2010 du fait de la forte croissance chinoise.

En 2009, les dernières estimations de l'EWEA, l'association européenne de l'énergie éolienne, indiquent le chiffre de 192 000 emplois en Europe dont 20 000 pour l'éolien off-shore. Les 10,1 GW installés dans l'Union européenne avaient généré 13 milliards d'euros de chiffre d'affaires, soit 1,3 million d'euros par MW installé (ou encore 2,6 M€ par éolienne installée en moyenne).

Les derniers chiffres disponibles par pays portent sur l'année 2007 et montrent une prédominance des pays pionniers en matière d'éolien, avec cependant la France où l'emploi éolien a fortement progressé en deux ans (+57%).

Cette même année, toujours selon l'EWEA, on comptait en Europe 151 300 emplois directs et indirects liés à l'éolien.

#### Impact sur l'emploi de la filière éolienne (chiffres pour 2008)\*

	Emplois directs et indirects	Chiffre d'affaire Milliards d'€
Allemagne (1)	87 000	7,6
Espagne	38 000	2,5
Danemark (2)	23 500	5
France (3)	7 000	nd
UE (4)	151 000	nd
USA	85 000	nd

Sans surprise c'est au sein des principaux pays producteurs et ayant les plus importants parcs d'éoliennes que le nombre d'emplois est le plus élevé. Cependant à mesure que la taille du parc ira croissant dans un nombre plus large de pays, la part de la production réalisées dans les pays d'origine des producteurs régressera, de même que le volume d'emploi généré par la maintenance devrait progresser y compris dans les pays n'ayant aucune industrie éolienne locale.

\*Note : les chiffres présentés ici ne sont pas homogènes, leur cumul n'est donc pas possible

(1) y compris industrie, installation, exploitation, ingénierie

(2) ces chiffres ne comprennent pas les unités implantées hors du Danemark

(3) source France Energie Eolienne (FEE) emploi en 2007, il y avait 11 000 emplois en 2009 en France

(4) source European wind energy association(EWEA), rapport "wind at work" 2009

L'EWEA estime que l'emploi éolien européen atteindrait 210 000 en 2015 et 318 000 en 2020 soit +50% en 10 ans. Cette forte évolution de l'emploi sera fortement liée à celle de l'éolien off-shore qui représentera à cet horizon 50% de l'emploi éolien contre 10% en 2010.

La FEE<sup>33</sup> indique qu'à l'heure actuelle, la filière éolienne en France représente l'équivalent de 11 000 emplois à temps plein. Mais elle estime que si notre pays développe suffisamment la filière pour réaliser les objectifs européens de production d'énergie d'origine renouvelable, l'énergie éolienne serait alors en mesure d'employer un total de 60 000 personnes d'ici 2020.

---

33 France énergie éolienne, la branche éolienne du Syndicat des énergies renouvelables (SER)

## 5.2- Les catégories d'emploi éolien et l'impact local

Une enquête menée par l'EWEA en 2007<sup>34</sup> indiquait un total de 151 300 emplois liés à l'éolien en Europe. Parmi ceux-ci 108 600 emplois (71,5%) étaient directement liés à l'éolien et 42 700 indirectement.

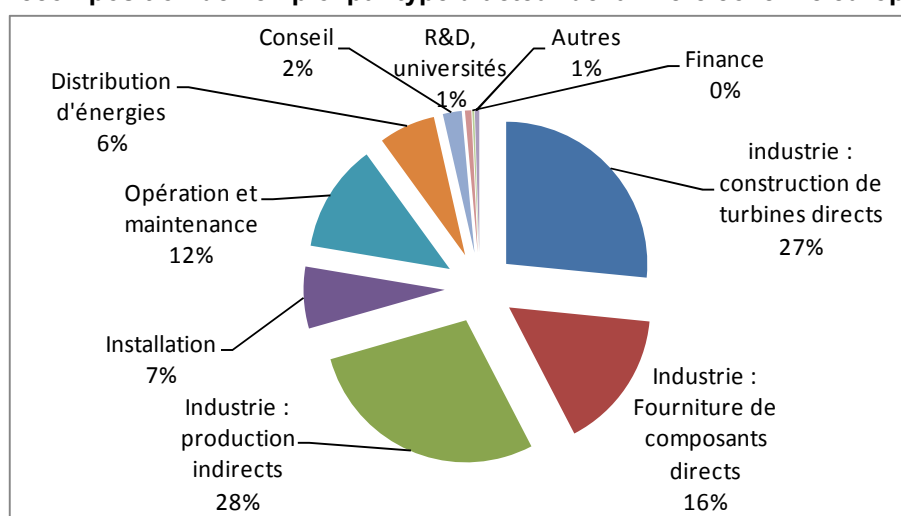
Les industriels (constructeurs et fournisseurs de composants) représentaient 64 000 emplois, auxquels il faut ajouter les 42 700 emplois indirects. Au total l'industrie représentait près de 71% des emplois directs et indirects de la filière éolienne européenne.

L'installation, la réparation et la maintenance représentaient quant à eux 19,4% de l'emploi généré.

A mesure que le parc éolien ira croissant, la part de ce dernier groupe prendra de l'ampleur.

Parmi les autres emplois directs (10% du total), les distributeurs d'électricité à base d'éolien représentent 6,5% de l'emploi, les entreprises de conseil technologiques 2%, la recherche 1% et le reste (dont la finance) moins de 1%.

### Décomposition de l'emploi par type d'acteur de la filière éolienne européenne en 2007



Source : EWEA

L'EWEA estime d'après la production éolienne européenne, que 15,5 emplois sont créés par MW produit et installé.

### Répartition des emplois créés par activité et par MW éolien produit et installé (en 2007)

	Segment d'activité	Emplois totaux en UE en 2007	Emplois /MW	Emplois /MW cumulé	Total emplois/ MW	Base
Phase industrielle	Construction des turbines (direct)	40 180				Annuel
	Production des composants (direct)	23 890	7,5		7,5	
	Construction des turbines et fourniture composants (indirect)	42 700	5		5	Annuel
Financement, conception des parcs, installation, monitoring...	Installation	10 700	1,2		1,2	Annuel
	Opération et maintenance	18 700		0,33	0,33	Cumulatif
	Autres directs*	15 200	1,3	0,07	1,37	75% annuel, 25% cumulatif
<b>Total</b>		<b>151 300</b>	<b>15,1</b>	<b>0,4</b>	<b>15,5</b>	

Source : EWEA 2009, \* Fournisseurs d'électricité, consultants, institutions de recherche, services financiers et autres

<sup>34</sup> « Wind at work, wind energy and job creation in the EU », EWEA, janvier 2009

Parmi ceux-ci 15,1 sont des équivalent temps annuels et liés au marché de l'année. Plus de 80% de ces emplois sont issus de la construction des turbines soit directement (7,5 emplois/ MW), soit indirectement (5 emplois/ MW). Ces emplois sont concentrés dans les zones de production. Les 2,5 emplois restants sont liés au service d'installation ou d'opération et de maintenance. Ces emplois de services ont une répartition géographique beaucoup plus marquée par celle des champs d'éoliennes. Enfin 0,4 emplois sont générés en continu par le parc existant cumulé. Ils sont essentiellement liés à la maintenance (0,33) et constituent des emplois pérennes sur la durée de vie des éoliennes en fonctionnement qui est de l'ordre de 20 ans.

La FEE précise que les éoliennes installées en France sont actuellement fabriquées à l'étranger, mais elles sont constituées de composants fabriqués dans toute l'Union européenne, et notamment en France. Quant à l'installation et à la maintenance des parcs, elles nécessitent de faire appel à des prestataires locaux.

Elle rappelle l'impact économique local potentiel des éoliennes pour peu que les PME locales soient associées à leur installation et à leur maintenance et cite une étude de l'ADEME qui a montré que 62% de l'investissement d'une centrale pouvait revenir au bassin d'accueil.

### **Projet type et impact sur un territoire**

Si l'on traduit l'ensemble de ces informations pour un territoire accueillant une tranche de parc éolien d'une taille de 12 MW, comme il s'en construit couramment en France depuis 3 ans, cela représente un apport de 7,4 millions d'Euros pour l'économie locale. Ces 12 MW représentent en outre 5 emplois annuels en maintenance et au moins 14 emplois pour la phase d'installation, sous l'hypothèse que la production n'est pas réalisée au sein de la région.



La maintenance des éoliennes génère 1 emploi annuel pour 3 MW installés.

Au fur et à mesure de la croissance du nombre d'éoliennes mises en service, les constructeurs mettent en place des équipes locales de techniciens de maintenance. Ces équipes de l'ordre de 15 à 20 salariés ont souvent une compétence géographique s'étendant sur plusieurs régions.

# 6-Quel potentiel pour l'IDF au regard de l'éolien ?

## 6.1- Acteurs industriels de l'éolien présents en IDF

(voir cartographie p59)

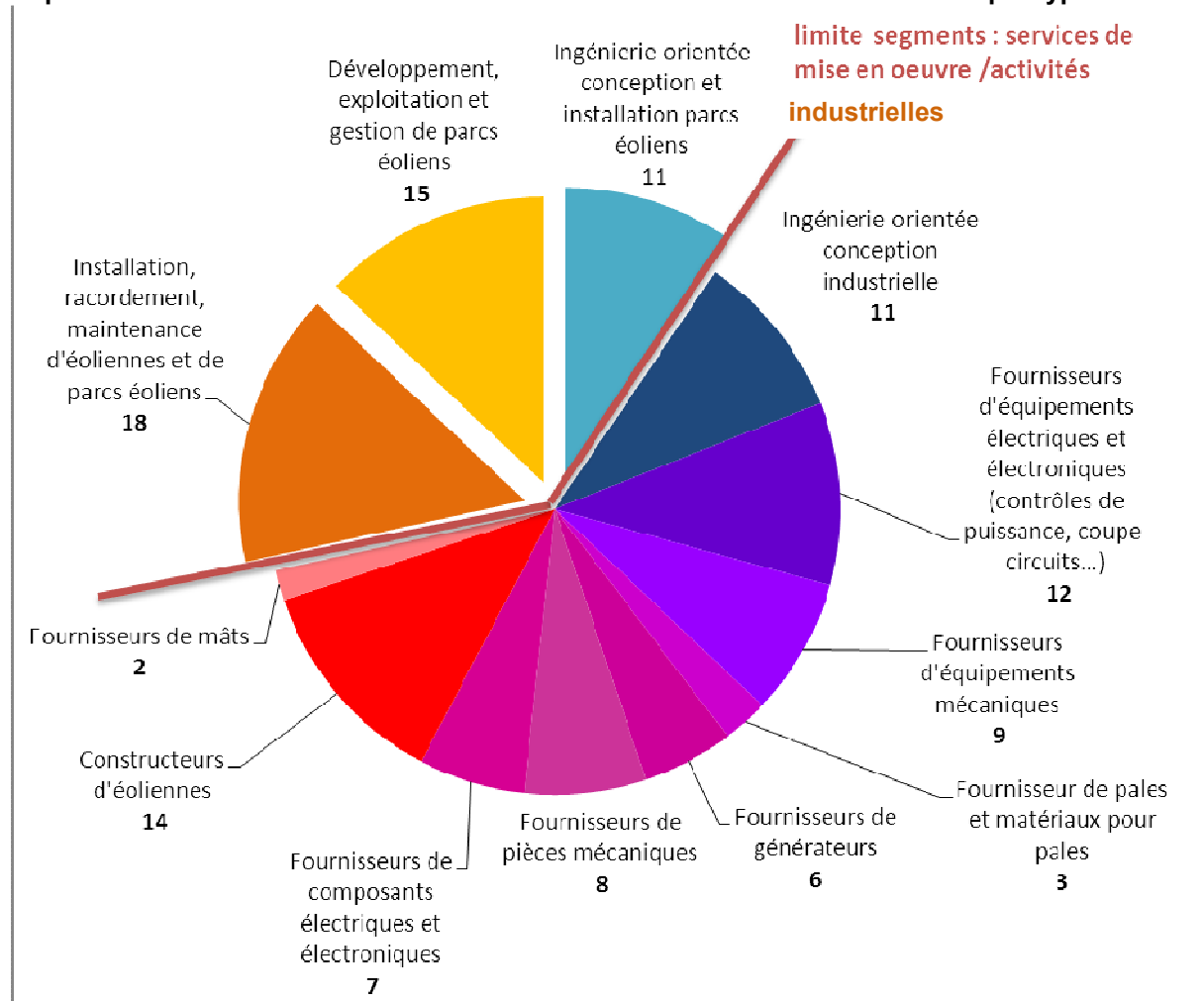
Nous avons recensé 112 établissements franciliens ayant une activité liée à l'éolien.

Notre schéma ci-dessous représente la répartition de ces acteurs par type d'acteur dans la chaîne de valeur<sup>35</sup>.

Parmi ces établissements, 72 émanent d'entreprises qui interviennent dans le segment industriel de la filière tel que nous l'avons défini précédemment (voir p36).

En amont, on compte 11 bureaux d'études indépendants ayant une activité dans la conception et l'installation de parcs éoliens. Par ailleurs 18 établissements ont pour objet la préparation des sites, l'installation des éoliennes, la maintenance des parcs. Enfin, on compte 15 intégrateurs, qui sont majoritairement des énergéticiens développeurs et exploitants de parcs éoliens.

### Répartition des établissements franciliens intervenant dans la filière éolienne par type d'acteur



Source : traitement IAU îdf 2010

<sup>35</sup> La somme des établissements est de 116 dans ce graphique pour tenir compte de l'activité de certains industriels qui relève à la fois de la construction d'éoliennes et de la fourniture de générateur ou encore du cas d'ABB qui est à la fois un fournisseur de générateurs et d'équipements électriques.



A la lecture de ce graphique, on constate que l'ensemble des segments de la chaîne de valeur sont représentés. Ceci est particulièrement vrai pour le segment industriel, cependant peu de ces établissements ont une activité manufacturière au sein de la région. En effet, sur les 72 établissements relevant du segment industriel, **10 ont effectivement une activité de conception ou manufacturière**, principalement dans le domaine de la mécanique et de l'électronique.

Dans les paragraphes qui suivent nous ne nous intéresserons qu'aux entreprises disposant de capacités de production, de moyens de R&D ou de bureau d'études au sein de la région, offrant ainsi une possibilité de participer à la structuration d'une filière éolienne francilienne à caractère industriel.

En amont de la filière, les entreprises **d'ingénierie industrielle** conçoivent tout ou partie des aérogénérateurs directement pour leur compte propre ou en appui d'industriels.

Parmi les principaux acteurs il faut relever Technip et Saipem qui sont à l'origine deux industriels de l'industrie pétrolière ayant une forte compétence dans le domaine off-shore qui mènent des recherches et développent des aérogénérateurs off-shore flottants qui constitueront la prochaine génération d'éoliennes. La validation imminente par l'ADEME dans le cadre du fonds démonstrateur des financements accordés aux projets portés par chacun de ces acteurs devrait sensiblement accroître les effectifs impliqués. De son côté Spie Fondations est un acteur du BTP qui dispose de fortes compétences dans les fondations off-shore, son bureau d'études se trouve en Ile-de-France avec pour le moment une activité réduite qui devrait croître lorsque l'éolien off-shore se développera en France. Ces équipes pour le moment réduites sont appelées à s'étoffer suite à l'annonce officielle du lancement des 3 000 MW off-shore en France.

Par ailleurs, XYZ prototypes est une PME spécialisée dans les polymères qui dispose de compétences dans le développement, la fabrication et l'essai de prototypes aérodynamiques et hydrodynamiques (terre, air, mer), ainsi que de systèmes de réduction de traînée induite (vortex).

La PME Windela basée à Boulogne conçoit des équipements urbains à faible consommation ou énergétiquement autonomes grâce à un couplage avec un système PV ou une petite éolienne à axe vertical. Windela commercialise les licences ces équipements auprès de fabricants.

La PME SC idf (les souffleries climatiques d'Ile-de-France) offre des prestations d'essais en soufflerie principalement orientée vers l'industrie automobile, ses équipements sont cependant adaptés pour des petites éoliennes à l'échelle 1.

Enfin, Aria-technologie est une société de logiciels spécialisés dans la simulation des fluides aériens. Elle intervient essentiellement au niveau de l'évaluation du potentiel éolien d'un site futur.

**Les fournisseurs d'équipements** pour éoliennes sont issus du secteur de la mécanique ou de l'électronique. Comme nous l'avons signalé précédemment, la majorité des acteurs sont représentés par un siège, un bureau commercial, une activité de distribution ou encore une activité de service (maintenance principalement). Quelques industriels ont cependant une présence plus étoffée, avec une activité manufacturière voire de bureau d'étude ou de recherche.

#### **Les fournisseurs d'équipements électriques et électroniques :**

C'est le cas de Converteam qui est une entreprise de dimension internationale, leader mondial dans la fourniture d'équipements de génération et de conversion d'énergie électrique. Converteam, conçoit, développe et produit ses convertisseurs électriques à Massy dans l'Essonne dont une partie équipe des éoliennes.

Dans un autre domaine, la start-up Leosphere basée à Orsay conçoit, développe et fabrique ses équipements destinés à mesurer le potentiel éolien de sites grâce à une technologie inédite à base de laser, le lidar, qu'elle commercialise partout à travers le monde.

Elle forme avec 24 autres entreprises issues des clean Tech un cluster nommé « Durapôle ».

Oilgear Towel, un fabricant de composants et systèmes électro-hydrauliques développe sur son site de Croissy-Beaubourg en Seine et Marne une activité de bureau d'études pour des solutions adaptées.

Ferraz Shawmut est un constructeur de composants électriques, il fabrique sur ses deux sites de Provins des sectionneurs et court-circuiteurs de forte puissance utilisés notamment dans l'industrie éolienne. L'entreprise est membre de groupe Mersen (ex carbone Lorraine) qui a récemment décidé de renforcer ses activités dans l'éolien en s'appuyant sur ses compétences dans les éléments destinés à la génération d'électricité.

Franklin France conçoit et produit des parafoudres utilisés notamment dans le cadre d'installations de grande dimension comme les éoliennes.

#### **Les fournisseurs d'équipements mécaniques ou de matériaux spécifiques :**

Axson technologies basé à St Ouen l'Aumône, est un groupe leader dans son domaine : spécialisé dans la formulation et la fabrication de plastiques de bases et de composites de haute technologie. Ses activités de recherche portent notamment sur la formulation de résines polyuréthanes et époxy et de matériaux composites high-tech. Il a notamment pour client l'industrie aéronautique et la principale application de ses activités dans l'éolien porte sur la fabrication de pales.

Alxion automatique et productive, est une TPE située à Colombes qui conçoit et produit des équipements pour industriels dont des alternateurs à entraînement direct pour éoliennes. Alxion est un leader dans son domaine et ses alternateurs équipent de nombreuses marques de moyennes et petites éoliennes à travers le monde. Par ailleurs l'entraînement direct est une technologie en plein essor dans le domaine de l'éolien. Alxion est le fournisseur privilégié de Céleste énergies, fabricant francilien de petites éoliennes (voir plus bas).

Bonfiglioli est la filiale française du constructeur italien spécialisé dans les réducteurs et boîtes de vitesses dont certaines sont utilisées dans l'éolien. Son site francilien abrite son siège pour la France un bureau d'études, ainsi qu'un magasin et une unité d'assemblage.

Antennes Leclerc est une entreprise spécialisée dans la conception et construction de mâts et pylônes pour tout type de finalité dont les petites éoliennes.

Olaer Industrie est une société britannique dont le siège France est basé à Colombes. L'entreprise propose des solutions hydropneumatiques de stockage et absorption d'énergie, de refroidissement, d'amortissement de pulsation. Le site de Colombes compte aussi un atelier de production de pièces qui sont notamment utilisées par l'industrie éolienne. Olaer industries dispose de compétences dans l'éolien off-shore, avec notamment un système anti-bélier pour absorber les chocs de la houle qui équipe le système de production d'électricité houlomoteur Pelamis.

Parmi les autres acteurs industriels présents en IDF, quelques PME de la mécanique dont Supadis une entreprise d'usinage haute précision certifiée comme fournisseur de l'industrie aéronautique. Par ailleurs, EADS Astrium aux Mureaux dispose de fortes compétences technologiques dans les matériaux composites acquises dans le domaine spatial et qui ont été à l'origine de la création de l'unité de production de pales Plastinov à côté de Bordeaux.

#### **Fabricants/assembleurs d'éoliennes :**

Comme pour les autres segments de la filière éolienne, l'Ile-de-France abrite de nombreux établissements de constructeurs/assembleurs d'éoliennes. Cependant la plupart sont des établissements commerciaux voire des sièges de groupes. On retrouve ainsi en Ile-de-France les principaux constructeurs de grandes éoliennes soit directement représentés par un bureau commercial, soit indirectement à travers leur groupe implanté sous forme de siège.

L'Ile-de-France abrite cependant deux constructeurs d'éoliennes positionnés sur le petit éolien qui conçoivent et/ou assemblent leurs turbines au sein de la région.

Eole technologie, est une TPE implantée à Recloses au sud de la Seine et Marne qui conçoit des petites éoliennes à axe vertical à installer sur toitures. Ce constructeur fait assembler ses machines en région Centre par une entreprise du secteur mécanique et fait appel à des sous-traitants distants de 250 km maximum issus des régions Centre, Ile-de-France, et Normandie. La production actuelle d'une cinquantaine de machines par an pourrait progresser à plus de cent d'ici quelques années et justifier la création d'une unité d'assemblage.

Céleste énergies est une TPE implantée à Chelles en Seine et Marne. Céleste énergies est un constructeur de petites éoliennes destinées à être installées sur mât et sur toiture terrasse. Son marché vise les collectivités, les sites administratifs, scolaires, industriels et commerciaux.

Le produit de Céleste énergies, la Windancer est à la base une licence canadienne qu'il a redéveloppée pour correspondre aux normes françaises puis européennes.

L'approvisionnement des équipements et l'assemblage des éoliennes sont intégralement réalisés en Ile-de-France. L'assemblage est assuré à Montreuil dans les locaux d'une entreprise de traitement de surface dont sont propriétaires les fondateurs de Céleste énergie. Ces derniers se sont appuyés sur leur carnet de clients pour les transformer en fournisseurs. Parmi ces derniers Alxion (voir plus haut) est un fournisseur clé.

Cette entreprise vise à atteindre une production d'une centaine d'éoliennes par an grâce à des partenariats avec des aménageurs comme Forclum (groupe Eiffage).

### D'autres acteurs industriels sont potentiellement mobilisables :

Le rapport Windustry<sup>36</sup> a repéré et contacté des acteurs industriels ayant montré leur intérêt pour la filière. Les auteurs ont ainsi repéré 150 entreprises françaises se disant prêtes à intégrer une filière éolienne française. Parmi ces entreprises, plusieurs ont une activité industrielle, de recherche ou de bureau d'étude significative en Ile-de-France.

Ces acteurs sont principalement issus du monde de l'ingénierie industrielle pour les bureaux d'études et de l'industrie aéronautique et de défense pour les industriels. Les principaux acteurs sont listés dans le tableau ci-dessous dans lequel sont mentionnés à titre indicatif les effectifs totaux de ces entreprises en Ile-de-France qui s'élèvent à plus de 9 000 salariés.

### Liste d'entreprises franciliennes susceptibles d'entrer dans la filière éolienne selon l'étude Windustry

Entreprise (groupe)	Activité principale	Activités potentielles dans l'éolien	Type d'activité en IDF	Effectifs totaux en IDF*
Assystem	Ingénierie industrielle	Ingénierie	Siège, ingénierie	1 700
Segula technologies	Ingénierie industrielle	Ingénierie	Siège, ingénierie	2 50
Teuchos (Safran)	Ingénierie industrielle	Ingénierie	Siège, ingénierie	500
Silec câbles (General cable)	Production de câbles	Fournisseur de câbles	Siège, production, ingénierie	950
Aircelle (Safran)	Nacelles pour moteurs	Composites, nacelles	Siège	450
Messier Bugatti (Safran)	Freins	Freins	Siège, Bureau d'études, R&D	600
Hispano Suiza (Safran)	Transmission de puissance	Transmission de puissance	Siège, R&D, Production	1 800
Sagem communication	Constructeur de terminaux communicants dans les domaines du Haut-Débit, de la Convergence, de l'Energie et de l'Impression	Composites, nacelles, composants électroniques et contrôle commande	Siège, R&D	2 250
Nexter electronics ,Nexter Mechanics (Nexter)	Systèmes de défense terrestre	Multiplicateurs, contrôles commande et composants électroniques	Siège	300
Durr System	lignes automatisées de peinture pour l'industrie	Peinture des mâts, pales, coque de la nacelle, moyeux et rotor	Siège France et bureau d'études ?	250

Source : Rapport Windustry Cap Gémini 2010, \*Source : Altareas

Cette liste n'est pas exhaustive et n'épuise pas les candidats potentiels, à l'image du site francilien de R&D de Bosch actuellement à la recherche d'un repreneur et pour lequel une activité dans l'éolien pourrait peut-être constituer une piste de reconversion.

<sup>36</sup> « Windustry France » Cap Gémini pour le SER, mars 2010

## Acteurs de l'éolien en IDF, selon leur place dans la chaîne de valeur et les fonctions présentes

Place dans la chaîne de valeur / Fonction	Ingénierie		Équipements éoliennes				Constructeurs	Mise en œuvre des éoliennes		
	Ingénierie industrielle	Production de générateurs	Production de Pales, nacelles et composites	Production d'équipements ou pièces mécaniques (réducteurs, multiplicateurs, engrenages, roulements, freins...)	Production d'équipement ou composants électrique et électronique	Production de mâts et embrases	Constructeurs / assembleurs d'éoliennes	Ingénierie pour installation sites	Préparation sites, Installation, raccordement au réseau, mise en service des éoliennes, maintenance et monitoring	Intégrateurs énergétiques
R&D	Technip**		EADS Astrium, Axson technologies <b>Safran (Aircelle)</b>	Alxion, Safran (Hispano, Messier-Bugatti), Nexter	Converteam, Leosphère				Alstom Schneider T&D	EDF Energies nouvelles, GDF-Suez
Bureau d'études	Technip**, Saipem**, Aria technologie, Spie Fondations, Socotec industries, APAVE, SC idf, XYZ prototypes. Alkaest, Enerco, Windela*, Shynergie, Selma ventsen, Safran (Teuchos), Segula technologie, Assystem			Alxion, Bonfiglioli, Olaer industries**, Safran (Hispano, Messier-Bugatti)	JRI Maxant, Converteam	Antennes Leclerc*	Eole technologie*, Celeste énergies*	Arcadis, Bote sondages, Fondasol, Fugro, géotech, Ginger, Garrad hassan, Enerco, SPIE Fondations, Technip, Dekra	Augeron, Spie fondations	
Production	XYZ prototypes		Axson technologies	Bonfiglioli, Alxion*, Olaer industries**, Safran (Hispano), Gabiot, Supadis	Converteam, Franklin France, Ferraz Shawmut, Leosphère	Antennes Leclerc*	Celeste énergie*		Augeron, Actaris	
Siège	DCNS**, Saipem**, XYZ prototypes	Siemens, Areva, ABB	Arkema, Mersen, EADS Astrium, Axson technologies, Safran (Aircelle)	Alxion, Bonfiglioli, SKF, Voith Turbo, Axson technologies, Olaer industries, Gabiot, Safran (Hispano, Messier-Bugatti), Nexter	Converteam, Franklin, Mersen, ABB, Nexans, Schneider electric, Tyco electronics, JRI Maxant, Citel, Altom-Schneider T&D, Leosphère, EMCC, Hydratight	Eiffel constructions métalliques, Antennes Leclerc*	Siemens, Alizéo, Areva (Multibrid), RePower, Alstom (ecotecnia), Eole technologie*, Celeste énergies*, w eole energy*	Colas, Fraiki fondations, MOCF, Spie fondations, Botte Fondations, Menard soltraitements, Razel, Mediaco levage, Technip, Nexans, GE power, Altom-Schneider T&D, Actaris, Forclum, ETDE, CEGELEC, Vinci Energie, Augeron, Ginger, CEGELEC, Fugro, Fondasol	BP France, EDF Energies nouvelles, GDF-Suez, Shell w indenergy, Akuo énergie	
bureau commercial		GE Energy, Leroy Somer		Fag SE, Hansen, Metso automation, STROMAG, CMD, Bosch Rexroth, Schaeffler, Burkert contromatic, SNR roulements, Andre Laurent, Supadis, Simrit	Mbog, Oilgear Towel, Hytorc, IFM Electronic		Nordex, Gamesa, GE Energy, Vestas offshore**, Sgs luxeole*			E-ON France, Ebsam (Dong Energy), Endesa, Sungeogel*, Epuron, EDP Energias de Portugal, WPD, Iberdrola, w indprospects, volksw ind, Langley Rinovabili, Enertrag, Electraw inds
Logistique distribution, centre de service		Leroy Somer		Voith Turbo	GE Power controls, Moog, hydrogeotechnique, Oilgear Towel		Enercon service	Colas, Fraiki fondations, Spie fondations, Botte Fondations, Botte sondages, Augeron, Forclum, Mediaco levage, Razel, MOCF, Menard soltraitements, ETDE, Ginger, Forclum, CEGELEC, Fugro, Fondasol, Vinci Energie		

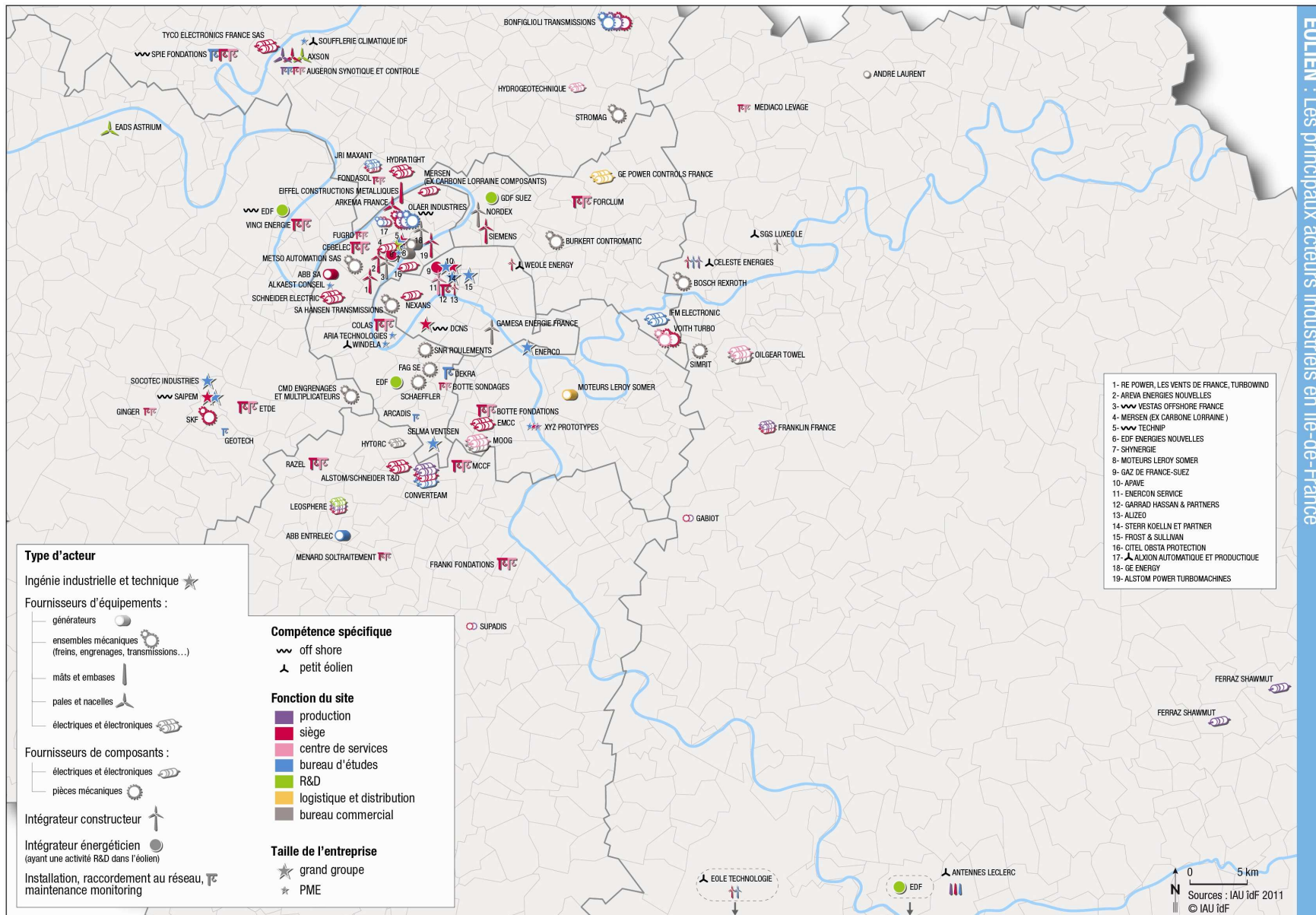
Entreprise se disant prête à intégrer la filière, selon le rapport Windustry ; \* petit éolien, \*\* spécialisation dans l'off-shore;

— Coeur de filière industrielle

- - - limite du champ industriel

Les couleurs des fonctions correspondent à la légende de la carte de situation en Ile-de-France

Source : traitement IAU-IDF janvier 2011



### Zoom : Les acteurs spécifiques à l'éolien off-shore en IDF

L'Ile-de-France abrite plusieurs acteurs ayant de fortes compétences dans l'off-shore, dont notamment tous les acteurs français susceptibles de se positionner comme leaders de la future filière éolienne off-shore que souhaite voir se mettre en place le gouvernement français.

S'il paraît peu vraisemblable qu'elle accueille un site d'assemblage d'éoliennes off-shore, la région capitale peut se positionner comme un des lieux de conception des nouveaux générateurs et d'amélioration de leurs performances une fois la filière lancée. Par ailleurs, ses fournisseurs peuvent se positionner pour intégrer la future filière qu'ils aient une spécificité dans l'off-shore ou pas à l'image de Converteam qui est membre du consortium Vertiwind, un des deux projets d'éoliennes off-shore flottantes porté par Technip et auquel participe aussi EDF EN. Les équipes de R&D et de bureau d'étude de ces entreprises devraient rapidement doubler suite aux lancements des appels d'offres off-shore et des programmes de démonstrateurs d'éoliennes flottantes.

Entreprise	Type d'acteur	Activité en IDF	Intérêt spécifique pour la filière off-shore
Technip	Bureau d'études industriel	ingénierie	Pourrait devenir le leader de la filière éolienne off-shore flottante française
Saipem	Bureau d'études industriel	ingénierie	Pourrait devenir le leader de la filière éolienne off-shore flottante française
DCNS	Bureau d'études industriel	siège	Pourrait devenir le leader de la filière éolienne off-shore flottante française
Spie fondations	BTP	ingénierie	Savoir-faire dans les fondations spéciales off-shore (éolien planté)
Olaer industries	Fournisseur d'équipements mécaniques	production	Systèmes anti-bélier amortisseurs de chocs
Vestas Off-shore	Constructeur	Bureau commercial	

Source : IAU-IDF

### Zoom : les acteurs spécifiques du petit éolien en Île-de-France

Comme on l'a vu précédemment, le petit éolien est en France un marché balbutiant avec une filière qui commence à peine à se structurer. La filière compterait 3 constructeurs de petites éoliennes et une quinzaine d'assembleurs au niveau national. L'AFPPE estime le parc français à 2 000 unités installées pour une puissance de 5 MW et 650 emplois générés. L'Ile-de-France accueille trois assembleurs<sup>37</sup> de petites éoliennes dont un opère uniquement en Ile-de-France. Les deux autres assembleurs estiment que la montée en puissance du marché français nécessitera pour eux la création d'une unité d'assemblage en propre qui pourrait éventuellement se situer en Ile-de-France. Par ailleurs le développement d'un marché national du petit éolien devrait permettre à des fournisseurs locaux de se développer et d'attirer des investisseurs étrangers à l'image de SGS Luxeole qui représente un constructeur allemand. Ces entreprises, essentiellement des TPE, comptent au total une cinquantaine de salariés impliqués dans l'éolien, ce chiffre pourrait atteindre 150 d'ici 3 ans.

Entreprise	Type d'acteur	Activité en IDF	Intérêt spécifique pour la filière off-shore
Celeste énergies	Assembleur	Siège, ingénierie, production	S'approvisionne à 100% en IDF
Eole technologie	Assembleur	Siège, ingénierie,	S'approvisionne en partie en IDF et pourrait implanter une unité d'assemblage
Weole energy	Assembleur	Siège	Leader français sur le petit éolien (40% parts de marché). Cible les centres commerciaux ou zones d'activités, ou des particuliers ayant des parcelles d'au moins 500m <sup>2</sup> en péri-urbain peu dense. Souhaite créer une unité d'assemblage propre avec 50 emplois.
SGS Luxeole	Constructeur	Agent commercial	Eoliennes avec support commercial. Cible les zones commerciales, Zones d'activité et axes routiers
Windela	Bureau d'études industriel	ingénierie	Eolien sur mobilier urbain
Antennes Leclerc	Constructeur	Siège, ingénierie, production	Mâts pour petites éoliennes
Alxion automatique et productique	Fournisseur pièces mécanique	Siège, ingénierie, production	Un spécialiste reconnu des alternateurs à entraînement direct.

Source : IAU-IDF

<sup>37</sup> Selon le Larousse : « Société qui vend sous sa marque des équipements construits à partir d'éléments préalablement fabriqués par d'autres fabricants ». Certains des assembleurs d'éoliennes délèguent même la tâche d'assemblage à des sous-traitants.

## 6.2-Acteurs de la recherche sur l'éolien présents en IDF

On a vu précédemment le constat peu optimiste dressé par l'école des Mines (rapport Armines<sup>38</sup>) dans son diagnostic sur la recherche française dans l'éolien en 2006.

L'Île-de-France souffre des mêmes maux que ceux mis en lumière au niveau national dans le rapport cité précédemment. Il existe des compétences de recherche qui sont très éclatées et peu visibles comme au niveau national. Les acteurs de la recherche éolienne en Île-de-France tels que nous avons pu les identifier s'articulent autour de quelques laboratoires ou organismes publics pour lesquels l'éolien n'est qu'une thématique parmi d'autres. **Il n'existe pas à notre connaissance de centre de recherche (privé ou public) dédié à l'éolien en Île-de-France** ni même de centre de R&D ayant une activité significative dans l'éolien. La principale raison en est que les grands constructeurs éoliens sont pour l'essentiel étrangers ou d'origine étrangère et ont leurs centres de R&D concentrés dans leur pays d'origine (Ecotecnia du groupe Alstom en Espagne et Mutibrid devenu Areva Wind, en Allemagne). D'autre part les fournisseurs français d'équipements acteurs dans ce domaine, mènent leurs activités de R&D sur l'éolien en dehors de la région. C'est notamment le cas d'EADS Astrium dont le siège est aux Mureaux et bien que disposant de fortes compétences dans le domaine des composites dédiés au spatial sur ce site, a développé ses activités dédiées aux pales d'éoliennes ainsi que sa recherche sur ce thème en région Aquitaine.

Par ailleurs, l'Île-de-France a été impactée, comme l'ensemble des acteurs français, par la fin des programmes d'envergure nationale en faveur de l'éolien. Les centres de recherche et laboratoires impliqués dans ces programmes ont réduit leurs activités dans ce domaine ou ont poursuivi leurs recherches sans les afficher sur la thématique éolienne.

Les nouvelles orientations nationales de recherche en faveur des énergies marines, dont l'éolien off-shore, devraient être de nature à favoriser l'émergence d'un ou plusieurs champions nationaux d'envergure internationale dans ce domaine. Cela permettra la mise en place d'une filière nationale s'appuyant sur les compétences déjà reconnues dans certains domaines spécifiques. La recherche devra accompagner cet essor puis contribuer au maintien de l'avantage technologique qui aura été acquis. L'initiative Ipanema (Initiative PArtenariale Nationale pour l'émergence des Energies Marines, voir encadré ci-dessous) qui avait été à l'origine de cette nouvelle orientation permet de recenser les principaux acteurs de la recherche impliqués dans l'éolien off-shore.

### **L'initiative IPANEMA (Initiative PArtenariale Nationale pour l'émergence des Energies Marines) (extrait du site : [www.ipanema2008.fr](http://www.ipanema2008.fr))**

*Conscients de l'importance de structurer rapidement les programmes français visant au développement des énergies marines, les signataires de la charte IPANEMA souhaitent favoriser l'émergence, en France (métropole et DOM-COM), d'une filière industrielle et scientifique dans ce domaine.*

*Ils décident de s'engager dans la présente et appellent l'ensemble des autres acteurs à fédérer leurs efforts pour ce faire et à se joindre à la présente initiative*

Les objectifs de cette initiative sont :

#### Objectif n°1 :

*Promouvoir le développement d'une filière scientifique et industrielle « Energies Marines » en définissant une stratégie commune et une feuille de route volontariste, et en facilitant l'appropriation des enjeux par l'ensemble des parties prenantes, dans un cadre national, européen et international.*

#### Objectif n°2 :

*Mettre en place un réseau coordonné des acteurs français des énergies marines dans une logique de développement des travaux existants et de renforcement de la thématique énergies marines à tous les niveaux concernés (recherche, industrie, développement économique...).*

#### Objectif n°3 :

*Développer des sites d'essais en mer adaptés aux différentes technologies d'énergies marines, pré requis à la démonstration de leur rentabilité économique, à l'instar du projet SEM-REV engagé avec le soutien de la Région des Pays de la Loire et de l'Etat (site d'essai de dispositifs houlomoteurs).*

#### Objectif n°4 :

<sup>38</sup> Voir le chapitre 2.4, pages 21-22 sur la recherche et développement dans l'éolien.

*Faciliter le développement de démonstrateurs en contribuant à la définition, au pilotage et à la mise en œuvre de dispositifs de soutien adaptés (fonds de soutien aux démonstrateurs, projets ANR, appels à projets européens...).*

Les signataires se répartissent au sein de 10 collèges dont les principaux sont :

- universités et académiques
- acteurs de la compétitivité
- fournisseurs industriels
- Etat
- Collectivités
- ...

Les signataires du collège académique de l'initiative sont\* :

**Centre de Recherche Versailles Saint-Quentin Institutions Publiques E.A. 3643, Centre Énergétique et Procédés (CEP Mines), CNRS, EA 4325 LBMS Université de Bretagne Occidentale/IUT de Brest, Ecole Centrale de Nantes, Ecole nationale d'ingénieurs de Brest, Ecole Navale / IRENav EA 3634, ENSIETA, ENSTA, Géolittomer (LETG, UMR 6554 CNRS / Université de Nantes), Grenoble-INP/LEGI, IFP, IFREMER, Institut Coriolis - Ecole Polytechnique, Laboratoire 3S-R (grenoble), U Havre Laboratoire Ondes et Milieux Complexes (équipe HAM-OA, LOMC FRE CNRS 3102), Laboratoire SATIE - CNRS, Université de la Réunion, Université de Nantes / IEMN-IAE, Université du Havre laboratoire GREAH, Université Joseph Fourier (Grenoble 1) / G2ELab.**

\*en gras laboratoires franciliens

Au niveau francilien, cette réorientation de la politique nationale vers l'off-shore n'est à priori pas favorable. En effet, du fait des contraintes techniques et économiques liées à l'acheminement des éoliennes vers leur lieu d'exploitation final, il est évident que les industriels développeront leurs sites de production de générateurs off-shore dans des ports relativement proches des futurs grands marchés off-shore disposant d'infrastructures permettant la construction puis l'acheminement des éoliennes. Cela concernera les grands ports de l'Atlantique ou de la Mer du nord, avec un avantage pour ceux disposant déjà d'un outil de production sur place pouvant en partie se reconvertir.

Au niveau de la recherche, les équipes publiques actives sur cette thématique sont surtout présentes au sein de ces régions côtières, en premier lieu l'Atlantique principalement à Brest (DCNS et Ifremer) avec le pôle mer Bretagne, mais aussi à Nantes-St Nazaire et Lorient, enfin en Méditerranée, avec le pôle mer PACA. C'est aussi sur ces sites que seront expérimentés les premiers démonstrateurs. Le pôle de Brest a d'ailleurs été désigné fin 2009 comme devant accueillir la grande plate-forme technologique sur les énergies marines au sein de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer).

Cependant, l'Ile-de-France abrite une part importante des équipes privées impliquées dans la recherche et le développement de ces démonstrateurs off-shore, ce qui en fait un des principaux points d'ancrage de la future filière éolienne française.

Par ailleurs, la région Île-de-France dispose de capacités de recherche actives sur la thématique de l'éolien qui relèvent à la fois des entreprises et du secteur public. Ces capacités, synthétisées dans le tableau page 71, intéressent autant l'éolien terrestre (grand ou petit) que l'éolien off-shore (posé ou flottant) et constituent autant d'atouts pour participer au dispositif national de recherche dans l'éolien.

Nous avons ainsi pu identifier les compétences de recherche suivantes, plus spécifiques à l'éolien, présentes en Ile-de-France :

- conception système complet (avec notamment participation au programme national de démonstrateurs off-shore flottants)
- fondations spéciales off-shore
- milieu marin et hydrodynamique, interactions fluides/solides (second potentiel national de recherche publique sur la thématique de la mer derrière Brest)
- mécanique des fluides, aérodynamisme, aéroacoustique, aéroélasticité
- matériaux (dont polymères et composites), fatigue et durabilité des matériaux, corrosion
- mécanique et assemblages mécaniques
- mécatronique
- connaissance de la ressource éolienne, y compris connaissance localisée en terrain difficile



**Au total ces équipes de recherche qui travaillent totalement ou partiellement sur l'éolien rassemblent environ 280 chercheurs publics<sup>39</sup> au sein des 13 laboratoires ou organismes publics que nous avons recensés comme actifs. Par ailleurs les 11 sites industriels identifiés comme ayant une activité de recherche dans l'éolien emploient au moins 50 chercheurs<sup>40</sup> sur ce thème. Ces effectifs pourraient rapidement monter à 90 dès que les résultats des appels à projets de démonstrateurs éolien off-shore flottants seront notifiés.**

Ces compétences sont complétées par des ressources en modélisation et simulation, ainsi que des ressources d'essai dont 4 souffleries qui constituent une forte spécificité de la région Île-de-France.

Ce potentiel identifié est renforcé par l'entrée possible d'industriels de l'aéronautique et de l'armement dans la filière qui disposent de fortes capacités de recherche en Île-de-France.

Par ailleurs des laboratoires ou organismes plus orientés vers la recherche fondamentale ou qui n'ont pas a priori une activité spécifique dans l'éolien disposent cependant de compétences qui pourraient fortement intéresser l'industrie éolienne et soutenir son développement. Nous en avons identifié 27.

Enfin, à côté d'un cluster dédié aux écotecnologies, l'Île-de-France compte deux pôles de compétitivité, deux clusters et deux plates-formes technologiques ou organisme de transfert de technologie qui offrent des compétences transférables au domaine de l'éolien sur ces différents thèmes. Ils sont détaillés en fin de ce chapitre (p 71).

## **6.2.1-La recherche privée active sur la thématique de l'éolien en Île-de-France**

L'Île de France abrite plusieurs centres de recherche ou bureaux d'études d'acteurs actifs dans l'éolien, notamment ceux des acteurs qui ambitionnent de se positionner en leaders de la filière éolienne off-shore flottante française. D'après les informations recueillies auprès des acteurs industriels, ce sont au minimum 50 chercheurs qui sont affectés à la recherche sur l'éolien en IDF dont l'essentiel (45) travaille sur l'éolien off-shore. Sur cette dernière thématique, nos entretiens nous permettent d'attendre un doublement de la taille des équipes de recherche à court terme dès lors que la réponse à l'appel à manifestation d'intérêt (AMI) pour les énergies marines du fonds démonstrateur de recherche sera connue et les financements accordés.

Longtemps attendue, l'annonce par le gouvernement français du lancement de l'appel d'offres des premiers 3 000 MW off-shore devrait bénéficier aux acteurs industriels français et permettre de structurer une véritable filière éolienne nationale.

Nous avons vu au chapitre sur la recherche (voir p22) que deux projets étaient en compétition concernant l'AMI sur les démonstrateurs éolien off-shore pour des projets de démonstrateurs à l'horizon 2012-2013 :

- Vertiwind du consortium TECHNIP, NENUPHAR, EDF EN et CONVERTEAM
- Winflow du consortium DCNS, SAIPEM, IFP EN, L'IFREMER

Le premier projet mené par *Technip* s'appuie largement sur des compétences franciliennes. Technip est un des leaders mondiaux en équipement pétrolier off-shore qui élargit ses activités à l'éolien off-shore qui résulte essentiellement de transferts de compétences du domaine oil and gaz. Technip est un pionnier mondial dans l'éolien off-shore flottant c'est en effet lui qui a développé la première éolienne flottante actuellement en phase de test pour le compte du projet norvégien Hywind de 2,5 MW. Ses équipes de recherche sont principalement basées à Paris, à la Défense, et comptent une vingtaine de personnes. *Converteam* est un leader mondial de la conversion d'énergie, il fabrique des générateurs ainsi que des convertisseurs de puissance électriques pour l'éolien. Son site de

---

<sup>39</sup> Il s'agit des effectifs de chercheurs des laboratoires de recherche et non des effectifs réellement impliqués dans l'éolien, ce chiffre est donc surévalué et ne peut être pris que comme un maximum, seuls les effectifs impliqués dans l'éolien à l'ONERA et à l'IFP-EN sont précisément estimés.

<sup>40</sup> Ce chiffre correspond aux chercheurs privés réellement actifs dans l'éolien, il est issu des entretiens menés auprès des industriels.

Massy abrite le siège mondial du groupe Converteam, on y trouve aussi des activités de recherche sur la conversion électrique et sur les générateurs, ainsi que des plates-formes de fabrication et d'essais pour équipements d'électronique de puissance et d'automatisation. Les équipes de Converteam à Massy travaillent sur le projet Vertiwind ainsi que sur un projet d'hydrolienne en collaboration avec EDF pour mettre au point un prototype qui sera essayé au centre d'ingénierie de Paimpol au large des côtes. Les collaborations scientifiques de Converteam n'incluent cependant aucun laboratoire francilien y compris ceux de SUPELEC.

Enfin, dernier partenaire, EDF EN du groupe EDF dont l'ensemble de la R&D est basée en Île-de-France, dispose d'une expérience dans le domaine de l'éolien, ce qui lui avait valu d'être cité par le rapport Armines en 2006 comme étant un des principaux acteurs français de la recherche dans l'éolien.

Le rapport soulignait la participation d'EDF dans divers programmes européens de recherche portant sur le raccordement au réseau électrique et les technologies de stockage (programme DISPOWER), la prévision de vent pour de futurs sites éoliens (ANEMOS) et enfin dans le domaine de l'éolien off-shore (le programme LOWEC) qui portait sur l'optimisation des fondations, l'augmentation des puissances des génératrices, le raccordement...

Sur le second projet, si DCNS n'a que son siège administratif en Île-de-France et l'essentiel de ses équipes impliquées sur le projet à Brest, Saipem, filiale du groupe italien ENI, qui avait racheté Bouygues off-shore en 2002, concentre par contre toutes ses équipes en Île-de-France à Saint-Quentin en Yvelines. Les compétences présentes en Île-de-France sont actives tant sur l'éolien off-shore posé que l'off-shore flottant. A partir du lancement des parcs éoliens off-shore en France et de la notification des résultats de l'AMI démonstrateur, les équipes dédiées chez SAIPEM en Île-de-France devraient compter jusqu'à 40 collaborateurs. De son côté l'IFP-EN (l'institut français du pétrole et des énergies renouvelables), organisme public de recherche, concentre 70% de ses effectifs en Île-de-France où s'effectuent les activités de recherche à base de simulation numérique et de modélisation d'éoliennes off-shore, notamment sur la thématique critique du couplage aérogénérateur/flotteur. Une dizaine de chercheurs devraient être mobilisés à terme sur le sujet.

La phase d'expérimentation est réalisée sur le site d'IFP EN de Lyon, tandis que le stade de test in-situ sera réalisé à Brest.

En dehors de ces projets spécifiques, des acteurs industriels franciliens mènent des activités de recherche dans l'éolien ou intéressant fortement l'éolien.

Parmi les principaux acteurs industriels franciliens actifs dans la recherche éolienne on peut citer :

-EDF R&D développe des activités de recherche autour de la disponibilité de la ressource éolienne. Un outil numérique des écoulements atmosphériques a été développé au sein d'un laboratoire commun avec l'ENPC, le CEREAS. Cet outil permet une exploitation dans les domaines de la dispersion des polluants mais aussi de la connaissance fine du potentiel éolien local en terrain accidenté. Par ailleurs, sur son site des Renardières à Ecuelles près de Fontainebleau, il mène une activité de veille technologique dans le domaine du petit éolien et participe à ce titre au financement du centre d'essai de petites éoliennes de Narbonne (SEPEN). Le groupe est par ailleurs impliqué dans l'éolien en particulier l'éolien off-shore posé sur grands fonds (plus de 30m) et l'éolien flottant avec le projet Vertiwind. Son activité de recherche s'appuie sur l'ensemble des compétences disponibles en internes acquises dans d'autres activités : hydrodynamique, mécanique des fluides avec les barrages ou l'usine marée motrice de la Rance, génie électrique, conversion électrique, générateurs, ou encore matériaux dont composites, assemblages et fatigues matériaux notamment dans le nucléaire. Les équipes de recherche du groupe EDF actives dans l'éolien off-shore se partagent entre l'Île-de-France et Londres, avec une antenne en Allemagne. Avec cette participation dans le projet Vertiwind EDF pourrait se positionner à terme comme un industriel dans le domaine des éoliennes off-shore.

-La start-up innovante Leosphere mène des activités de recherche sur la même thématique de la disponibilité de la ressource éolienne localisée en terrain difficile. Cette start-up a bénéficié de financement d'Oséo et de l'ADEME pour développer son produit le Lidar Windcube, technologie radar portable à base de laser. Leosphere a collaboré avec le laboratoire LSCE (laboratoire des sciences du climat et de l'environnement), CNRS 1572 CNRS-CEA-USQV et l'ONERA. Cette technologie testée sur terre est aussi bien adaptée pour l'off-shore.

-Le constructeur de petites éoliennes Celeste énergies a mené la conception de sa machine avec l'aide de deux partenaires:

- d'une part ABB qui a effectué un suivi technique sur l'équipement électrique et électronique (équipes basées aux Ulis qui étaient alors en sous-activité)
- d'autre part le laboratoire LISMMA (Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Mécaniques et des Matériaux) de l'école Supméca basée à St Ouen. Ce laboratoire a établi un partenariat de long terme avec l'entreprise qui lui fournira une éolienne à demeure. Le laboratoire a validé les calculs effectués par Céleste énergies, pratiqué des tests de résistance mécanique, participé à la rationalisation de l'architecture des éléments mécaniques pour en faciliter l'industrialisation.

D'autres acteurs mènent aussi des activités de bureau d'étude, assurant le développement de produits.: Spie Fondations, Axson technologies, Bonfiglioli, Alxion automatique et productique, Olaer industrie, Antennes Leclerc , Eole technologies, Windela.

Leurs activités ont été détaillées au chapitre 6.1, pages 54 à 57.

Par ailleurs, des industriels présents en Île-de-France et qui ont montré un intérêt à entrer dans la filière éolienne ont de fortes compétences de R&D au sein de la région :

-Le groupe Safran à travers ses filiales dispose de l'essentiel de ses centres de recherche en Île-de-France. Messier Bugatti regroupe ainsi ses équipes de recherche sur son site de Vélizy-Villacoublay, tandis qu'Hispano-Suiza a ses équipes de recherche implantées sur le site de Villaroche près de Melun.

-Sagem communication, devenue indépendante après la partition de Sagem et de son intégration dans le groupe Safran en 2004, regroupe ses activités de recherche en France (700 personnes) à Rueil-Malmaison et à Osny près de Cergy.

-EADS Astrium est la filiale qui regroupe les activités du groupe européen EADS.

Elle est principalement basée aux Mureaux où se trouvent son siège et l'essentiel de ses activités de R&D et de bureau d'études dans le domaine des lanceurs et des missiles balistiques stratégiques. EADS Astrium a ainsi développé de fortes compétences dans le domaine des matériaux composites. Cette compétence lui a permis de développer une activité de production de pales éoliennes en partenariat avec la société Plastinov et de créer un centre de production dans l'agglomération bordelaise.

## 6.2.2-La recherche publique active sur la thématique de l'éolien en Île-de-France

Dans l'introduction de ce chapitre portant sur les acteurs de la recherche francilienne dans l'éolien, nous avons rappelé les conséquences de la fin des grands programmes explicitement orientés éolien sur la recherche en général. Cet impact a été particulièrement marqué au sein de la recherche publique.

Désormais peu d'acteurs ont réellement une activité de recherche appliquée à l'éolien, cependant plus nombreux sont ceux affichant des compétences qu'ils estiment transférable à l'éolien, tandis que d'autres disposent de compétences qui pourraient aussi intéresser l'éolien, sans que pour autant ces laboratoires ne mentionnent l'éolien parmi leurs domaines d'application.

### Le repérage des compétences, éléments de méthodologie :

Comme nous l'avons évoqué, plusieurs de ces laboratoires actifs ou potentiellement actifs avaient été recensés par le rapport Armines qui faisait en 2006 un bilan de la filière éolienne française. Leurs compétences existent toujours même si elles ne sont pas forcément actives.

Par ailleurs, les nouveaux développements de l'éolien en mer et des technologies marines en général ont impliqué de nouveaux acteurs que l'on peut notamment (mais pas exclusivement) repérer parmi les signataires de la charte IPANEMA (voir plus haut), ainsi que parmi les partenaires des consortiums ayant répondu à l'AMI sur les démonstrateurs d'énergie marine de l'Ademe. Enfin, lors de nos entretiens nous avons repéré des laboratoires ayant des collaborations avec des industriels de l'éolien.

La liste complémentaire des laboratoires ayant des compétences spécifiques à la problématique de l'éolien au regard des autres ENR (principalement la mécanique, mécanique des fluides...) et pouvant intéresser la filière est issue d'une revue systématique des laboratoires CNRS présents en Île-de-France. Cette liste si elle se veut la plus complète possible n'est bien entendu pas exhaustive.

### **6.2.2.1-Les laboratoires ou organismes actifs ou s'affichant sur la thématique éolienne :**

#### **ONERA (the french aerospace lab)**

L'ONERA dispose de nombreuses compétences transférables à l'éolien que ce soit dans le domaine des matériaux (métalliques, composites) de leur nature, de leur comportement, de l'aérodynamisme, de l'aéroélasticité, de l'aéroacoustique et la mécanique des fluides en général ou encore de la furtivité (signature radar) des effets et de la protection contre la foudre et du givre. Dans tous ces domaines l'ONERA dispose de surcroît de moyens de simulations et d'essais qui en font un acteur incontournable de la recherche dans l'éolien.

L'ONERA avait d'ailleurs été très actif dans ce domaine au début de la décennie 2000 avec notamment en 2002 un programme phare nommé PRODEMA (*Projet de Rotor Optimisé D'Eolienne Multimégawatt Avancée*) co-financé par l'ADEME mené en partenariat avec Jeumont SA alors encore seul constructeur français de grandes éoliennes, le LML, l'IAT de St Cyr. Ce programme portait sur la modélisation du comportement dynamique des éoliennes de grande puissance à axe horizontal.

Ce programme a été suivi en 2005 du projet Devamse (DEveloppements et VALidations Modèles de Simulation de rotor d'Eoliennes) subventionné par l'Ademe. Dans le cadre de ce projet, l'ONERA a collaboré aux Etats-Unis avec le NREL (National Renewable Energy Laboratory) pour l'exploitation détaillée d'une base de données obtenue sur des essais dans la soufflerie géante de la Nasa Ames d'un rotor d'éolienne largement instrumenté.

Ces compétences sont principalement représentées au sein des Départements Aéroelasticité et Dynamique des Structures (DADS), Aérodynamique Appliquée (DAAP) ou encore Electromagnétisme et Radar (DEMR). Ces différentes entités sont basées à Châtillon, Meudon et Palaiseau.

Depuis 2006, les activités éoliennes de l'ONERA se sont réduites mais se poursuivent sur les thématiques de l'atténuation de la signature radar et optiques (collaboration avec Leosphere).

Pour répondre à un des principaux freins à l'installation d'éoliennes en France (près de la moitié des projets de parcs éoliens le sont sur cet argument), l'ONERA travaille actuellement sur la problématique radar des pales d'éoliennes avec deux projets parallèles co-financés par l'ADEME.

Un premier projet Sipré (Simulation de la perturbation des radars par les éoliennes) mené par l'ONERA d'une durée de 15 mois et doté d'un budget de 1,5 million d'euros a pour but de bâtir un outil de simulation des perturbations engendrées par les pales d'éoliennes dans son environnement et l'impact sur le fonctionnement du radar.

Parallèlement l'ONERA participe à un autre projet mené par EADS Astrium doté de 3 millions d'euros sur 36 mois. Son but est de rendre les pales furtives en travaillant cette fois sur les matériaux et en particulier un nouveau concept de structure composite. Un modèle de pale sera développé et testé sur le site ONERA de Palaiseau.

#### **IFP-EN (Institut Français du Pétrole et des énergies nouvelles)**

Initialement centré sur le pétrole et ses technologies, l'IFP EN a développé des compétences dans le domaine de l'exploration pétrolière off-shore qui trouvent aussi une application dans l'éolien off-shore notamment l'éolien off-shore flottant. En devenant IFP-EN l'institut peut en toute légitimité se positionner dans le domaine des énergies nouvelles et en particulier sur les nouveaux développements concernant les éoliennes off-shore flottantes.

Il est ainsi un des principaux membres du consortium Winflo ayant répondu à l'appel à manifestations d'intérêt lancé par l'ADEME sur les projets de démonstrateurs dans le domaine des énergies marines.

L'IFP-EN dispose en Île-de-France à Rueil-Malmaison de près des deux-tiers de ses équipes avec plus de 1 000 salariés. Sur son site francilien, la participation de l'IFP-EN portera sur la simulation numérique et la modélisation d'éoliennes off-shore complètes. Un des principaux enjeux porte sur le flotteur et le couplage avec l'aérogénérateur avec pour ambition de diviser son coût par deux.

Ces recherches ont aussi des retombées dans le domaine de l'éolien off-shore posé.

Le site de Rueil-Malmaison se positionne en amont de la recherche tandis que le site lyonnais de l'IFP-EN assurera l'expérimentation du prototype et que les phases d'essai en mer seront menées au large de Brest. Les recherches sur l'éolien off-shore flottant devraient mobiliser une dizaine de chercheurs à partir du moment où les résultats de l'AMI seront notifiés, ce qui devrait intervenir dans le courant de 2011.

### **ENS Cachan**

Le laboratoire SATIE (Systèmes et Applications des technologies de l'Information et de l'Energie) avait été mentionné par l'étude Armines comme un des principaux laboratoires français actifs dans l'éolien avec des compétences développées dans le domaine des générateurs linéaires asynchrones, le stockage d'énergie et le couplage éolien/photovoltaïque avec stockage d'énergie. Ce laboratoire reste impliqué dans le domaine de l'énergie notamment l'équipe Intégration Puissance Et Matériaux (IPEM) et l'équipe Systèmes d'Énergies pour les Transports et l'Environnement (SETE). Le laboratoire est d'ailleurs un des signataires de l'initiative IPANEMA (voir encadré p61).

Les travaux de ces équipes portent sur les systèmes, l'intégration en électronique de puissance, la Compatibilité électromagnétique des systèmes de conversion d'énergie, la fiabilité de semi-conducteurs de puissance, et la Gestion de l'énergie et les énergies renouvelables. Ces deux équipes rassemblent 25 personnes dont 23 chercheurs. Parmi les collaborations du laboratoire figurent des acteurs industriels actifs ou potentiellement actifs dans l'éolien : Leroy-Somer, Messier-Bugatti, Hispano-Suiza. SATIE est membre du groupement SPEE labs, créé en 2005 qui est constitué de trois autres laboratoires franciliens, le Département Energie et le LGEP de Supélec, le LTN de l'Inrets,

### **Arts & Métiers ParisTech (Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers)**

Le laboratoire LMF (Laboratoire Mécanique des fluides), cité par le rapport Armines comme menant des recherches sur des thématiques liées à l'éolien est situé à Paris 13<sup>e</sup>.

Les thèmes de recherche de ce laboratoire couvrent la modélisation et le calcul de phénomènes aéroélastiques, aérodynamiques ou aéroacoustiques. Le laboratoire est en outre doté d'une soufflerie interne pour les essais sur maquettes et l'exploration de l'écoulement autour des rotors (sillage éolien par anémométrie fil chaud et PIV).

### **LISMMA (Laboratoire d'Ingénierie des Structures Mécaniques et des Matériaux) EA 2336 Supmeca-Paris8**

Le LISMMA est un laboratoire regroupant 44 personnes dont 33 chercheurs. Il a pour principale thématique de recherche l'ingénierie des ensembles et des systèmes mécaniques.

Ses axes de recherche couvrent la physique des matériaux, la conception mécanique numérique (partenariat avec Dassault systèmes pour le développement de CATIA), la mécatronique, la tribologie (étude de tous les problèmes liés aux contacts) et la vibroacoustique (vibrations, bruits, matériaux amortissants). Le Lismma collabore avec les principaux industriels de l'aérospatiale, de l'automobile et de l'équipement ferroviaire. Il a notamment un contrat en cours sur le comportement vibro-acoustique d'une boîte de vitesse et un autre sur les instabilités vibratoires dans les systèmes de freinage.

Ce laboratoire a noué un partenariat avec le constructeur francilien de petites éoliennes **Céleste énergies** qui se traduit notamment par la fourniture d'une éolienne qui restera à demeure au sein du laboratoire. Le laboratoire a validé les calculs effectués par Céleste énergies, pratiqué des tests de résistance mécanique, participé à la rationalisation de l'architecture des éléments mécaniques pour en faciliter l'industrialisation.

### **SUPELEC**

SUPELEC est un des principaux acteurs académiques et de recherche français dans le domaine du génie électrique, l'école est basée à Palaiseau sur le plateau de Saclay. Son principal laboratoire, le **LGEP** (Laboratoire de génie électrique de Paris) qui compte 50 membres dont 34 chercheurs, dispose de fortes compétences dans le domaine de la conversion électrique dans une approche tri-dimensionnelle : théorie/expérience/modélisation numérique.

L'équipe CoCoDi (Conception, commande et diagnostic) se focalise notamment sur les dispositifs de conversion d'énergie électromécanique dont par exemple le variateur de vitesse qui concerne les machines tournantes, les convertisseurs statiques, la chaîne cinématique, la commande numérique et les capteurs.

Le **Département énergie** de SUPELEC travaille aussi sur la thématique machines électriques et systèmes de conversion (machines électriques et systèmes de conversion dont actionneurs pour moteurs, électronique de puissance, réseaux d'énergie électrique dont intégration des ENR).

Supélec a conclu un Contrat de recherche avec Weole energy (petit éolien) pour la simulation des systèmes électriques de l'aérogénérateur. Ce projet a reçu le soutien d'Oséo et du CFI.

### **L'ENSTA ParisTech (Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées)**

L'ENSTA figure parmi les signataires de l'initiative IPANEMA.

On peut relever notamment l'activité de son **Unité Mécanique** dont l'objet porte sur l'interdisciplinarité forte entre plusieurs branches de la mécanique des fluides et des solides : couplage thermomécanique et multiphysique, fatigue et durabilité des structures, vibroacoustique et vibrations non linéaires, écoulements séparés et turbulence, fluides géophysiques et océanographie, avec des applications dans le domaine de l'énergie. L'unité mécanique compte 29 personnes dont 17 chercheurs et est localisée à Palaiseau.

Par ailleurs, le **laboratoire d'optique appliquée (LOA)** travaille sur les lasers et les particules énergétiques, avec des applications qui intéressent l'éolien concernant les systèmes parafoudre ou encore la connaissance fine de la ressource avec les LIDAR (voir précédemment la start-up Leosphere).

### **Ecole polytechnique**

L'Ecole polytechnique figure parmi les signataires de l'initiative IPANEMA.

Deux laboratoires de l'école affichent des compétences sur les interactions fluides-structures transférables à l'éolien.

Le **laboratoire d'Hydrodynamique (LadHyX)** travaille sur l'aéroélasticité et les effets de fatigue prématurée de l'énergie vibratoire avec des moyens théoriques, numériques et expérimentaux. Le laboratoire travaille aussi sur la ressource éolienne au niveau de l'interaction vent-plante.

Le **Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD)** s'intéresse à la circulation atmosphérique de basse couche avec des applications potentielles sur la connaissance de la ressource éolienne à fine échelle sur terrain complexe sujet à turbulences. Il élabore notamment des méthodologies de downcaling du vent dans le domaine éolien, dans le cadre d'une convention de recherche avec l'ADEME en collaboration avec l'INRIA d'une part et avec le CERE (EDF/ENPC).

### **ENPC (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées)**

L'ENPC basée à Champs sur Marne sur le campus René Descartes mène des travaux de recherche sur la prédiction du vent avec son laboratoire CERE (Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique) commun avec EDF. Ces recherches portent plus précisément sur l'amélioration de la capacité de prédiction du vent près de la surface à partir de champs grande échelle (issus par exemple des modèles de prévision météorologique).

### **Le CNAM (Conservatoire national des Arts et métiers)**

Le CNAM dispose à St Cyr l'Ecole dans les Yvelines d'un complexe de souffleries aérotechniques : l'IAT. L'IAT dont l'activité à l'origine est orientée vers l'industrie automobile diversifie ses prestations en direction de l'aéronautique (vols basse vitesse dont drones), le ferroviaire et l'éolien. Ses recherches dans le domaine de l'éolien sont réalisées soit dans un cadre partenarial avec un industriel, en interne ou dans le cadre de projets européens. Celles-ci concernent la recherche appliquée et portent sur l'optimisation des performances aérodynamiques des rotors, le comportement en régime de décrochage, l'influence des profils et de leur état de surface, les effets de la turbulence atmosphérique, les effets de sillage et de proximité, l'étude du comportement aéroélastique des machines. Dans ce dernier domaine il propose des services de test en soufflerie avec des contrats techniques pour des fabricants de petit éolien comme Windela. Ses prestations portent sur la qualification et la certification du matériel qui leur est soumis à essais au niveau aérodynamique et du potentiel de production.

### **Ecole des Mines**

Le CEP (centre énergétique et procédés) d'Armines a notamment pour objet de recherche les énergies renouvelables, il est d'ailleurs un des signataires de l'initiative IPANEMA. Cependant, cette thématique pour ses composantes Eolien et Photovoltaïques est représentée sur son site de Sophia Antipolis en région PACA.

### **6.2.2.2-Les souffleries actives dans l'éolien :**

On dénombre pas moins de 4 sites de test en soufflerie qui ont une activité dans l'éolien :

- Les souffleries de l'Institut AéroTechnique du CNAM : St Cyr l'Ecole, Yvelines
- la soufflerie de Arts & Métiers ParisTech : Paris 13<sup>e</sup>
- les souffleries du CSTB (ex Eiffel) : Paris 16<sup>e</sup>
- les souffleries climatiques d'Île-de-France : Saint Ouen l'Aumône, Val d'Oise

#### **Souffleries IAT Institut AéroTechnique à St Cyr**

Les souffleries IAT proposent entre autres des services de test en soufflerie, avec des contrats techniques pour des fabricants de petit éolien comme Windela. Ses prestations portent sur la qualification et la certification du matériel qui leur est soumis à essais au niveau aérodynamique et du potentiel de production. L'IAT peut travailler aussi bien sur le grand éolien (maquettes) que le petit éolien (échelle 1 maxi 3m de diamètre), avec notamment une veine de 6mX6m.



IAT : Essais en Soufflerie de petites éolienne à axe vertical

Source : Souffleries IAT institut aérotechnique de St Cyr

L'IAT souhaite développer de nouvelles capacités d'essai qui permettraient de simuler des vents perturbés avec des taux de turbulence de l'ordre de 10% là où les autres souffleries (CSTB Nantes) ne peuvent simuler que des perturbations de l'ordre 1%.

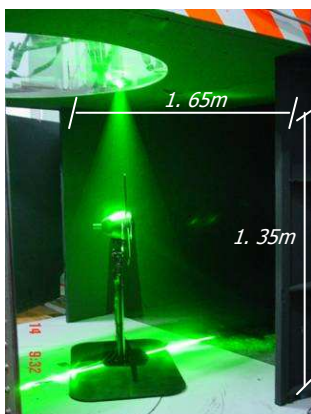
Cette spécificité sera particulièrement importante et différenciante en ce qui concerne le petit éolien urbain qui est soumis à de fortes turbulences.

En effet, un des enjeux importants du petit éolien urbain est de déterminer la capacité réelle de production in-situ qui intègre ces vents perturbés.

L'IAT souhaite ainsi imposer sa certification grâce à ces nouvelles capacités d'essais.

#### **Arts & Métiers ParisTech**

Dispose sur son site de Paris 13<sup>e</sup> arrondissement de plusieurs bancs d'essais dont notamment une veine de retour de 3mx3m dans laquelle sont effectués des tests de petites éoliennes et une veine principale équipée en vélocimétrie laser.

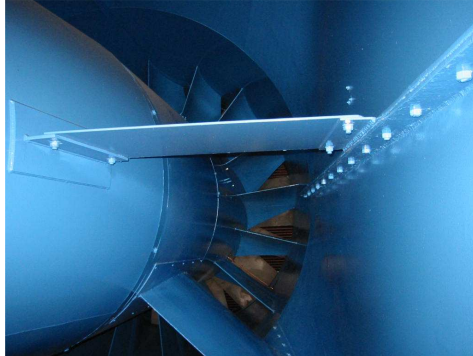


Source : Arts & Métiers ParisTech



LMF : Essais en Soufflerie de petites éolienne dans la veine principale (max. 40 m/s) et la veine retour (max. 10 m/s)

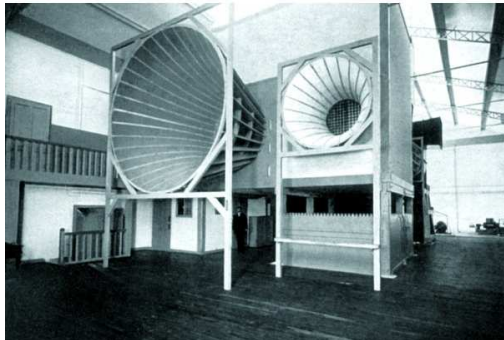
**SC-idf** Les souffleries climatiques d'Île-de-France sont des souffleries indépendantes, originellement intégrées au groupe d'équipements automobiles Valeo. Ses activités portent principalement sur les véhicules routiers, avec cependant quelques prestations d'essais dans le domaine du petit éolien. Elles ont pour spécificité de simuler des conditions climatiques extrêmes du froid (-35°C) au chaud (+55°C), de l'humide (98%) au sec (10%) avec simulation d'ensoleillement.



*Le ventilateur peut simuler des vents jusqu'à 230 km/h*

*Source : SOUFFLERIE CLIMATIQUE Ile de France*

**Souffleries Eiffel** Originellement construites en 1929 par l'entreprise Eiffel puis reprise par le GIFAS (groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales), La soufflerie peut simuler des vents de 100km/h avec un taux de turbulence de 1 à 2%. Les souffleries implantées à Paris dans le 16e arrondissement ont été achetées en 2001 par le CSTB pour des essais de maquettes, dans le domaine de l'automobile et du bâtiment. La brochure du CSTB précise les missions de la soufflerie : *Étude des charges aérodynamiques-actions globales (pesée) et locales (pression) - sur bâtiments, ouvrages d'art, coques, panneaux photovoltaïques, éoliennes, antennes*. La soufflerie est ainsi particulièrement adaptée à la problématique du petit éolien monté sur bâtiment.



*Construite en 1929, la soufflerie Eiffel est classée monument historique et fait aussi l'objet de visites ouvertes au grand public*

Source : Aerodynamique Eiffel



### **6.2.2.3-Les Pôles de compétitivité, clusters ou structures de transferts technologiques franciliens concernés ou potentiellement concernés par la thématique de l'éolien.**

**Durapôle** est à notre connaissance le seul cluster francilien clairement affiché dans les ENR avec notamment une composante éolienne. Il est composé de 25 PME qui ont décidé de se rassembler pour développer le secteur des éco-industries en Île-de-France, en favorisant notamment les projets collaboratifs. Durapôle s'est doté d'une structure de gouvernance commune. L'ambition du pôle est de fédérer à terme 100 à 150 acteurs régionaux actifs dans cette thématique.

Si l'on considère les technologies clés dans le domaine de l'éolien (voir chapitre 2 p 18-20) il apparaît que plusieurs structures et organisations présentes en Île-de-France peuvent apporter leurs compétences technologiques.

Ce sont en premier lieu les pôles de compétitivité dont certains offrent des compétences particulières dans les domaines de la mécanique, de la mécatronique et des matériaux.

- **Pôle Mov'eo** (mécatronique et matériaux)

- **Pôle Astech** (architecture éolienne, pales, aérodynamique, mécanique : freins, multiplicateurs, matériaux dont composites, mécatronique...) et ses partenaires principalement Safran

- **Pôle Advancity** (bâtiment et énergie)

Ce dernier, du fait de fortes proximités avec l'éolien peut aussi lui apporter des appuis dans les domaines spécifiques des pales, de l'aérodynamique, ainsi que dans l'architecture de l'éolienne.

Deux clusters régionaux sont spécialisés dans le domaine de la mécatronique :

- **Pôle mécatronique du Mantois** P2M<sup>41</sup>,

- **SPL Mecatronic Seine Amont**<sup>42</sup>, Vitry/Seine,

Par ailleurs, des plate-formes technologiques spécialisées sont en position d'apporter leur appui aux entreprises de la filière :

- **Plate-forme technologique** labellisée par la MENRT **2MP** matériaux, mécanique, productique<sup>43</sup> à St Denis.

Enfin, ajoutons le **Centre Francilien de l'Innovation** (CFI)<sup>44</sup> qui regroupe les structures de transferts de technologies franciliennes dont les anciens CRITT méca et CRITT Chimie, ainsi que le **Lieu du Design** qui aide les entreprises à recourir au design dans leur innovation et qui vient de lancer un appel à projet dans les énergies renouvelables et alternatives.

---

<sup>41</sup> [www.uvsq.fr/toute-l-actualite/pole-mecatronique-du-mantois-p2m--21210.kjsp](http://www.uvsq.fr/toute-l-actualite/pole-mecatronique-du-mantois-p2m--21210.kjsp)

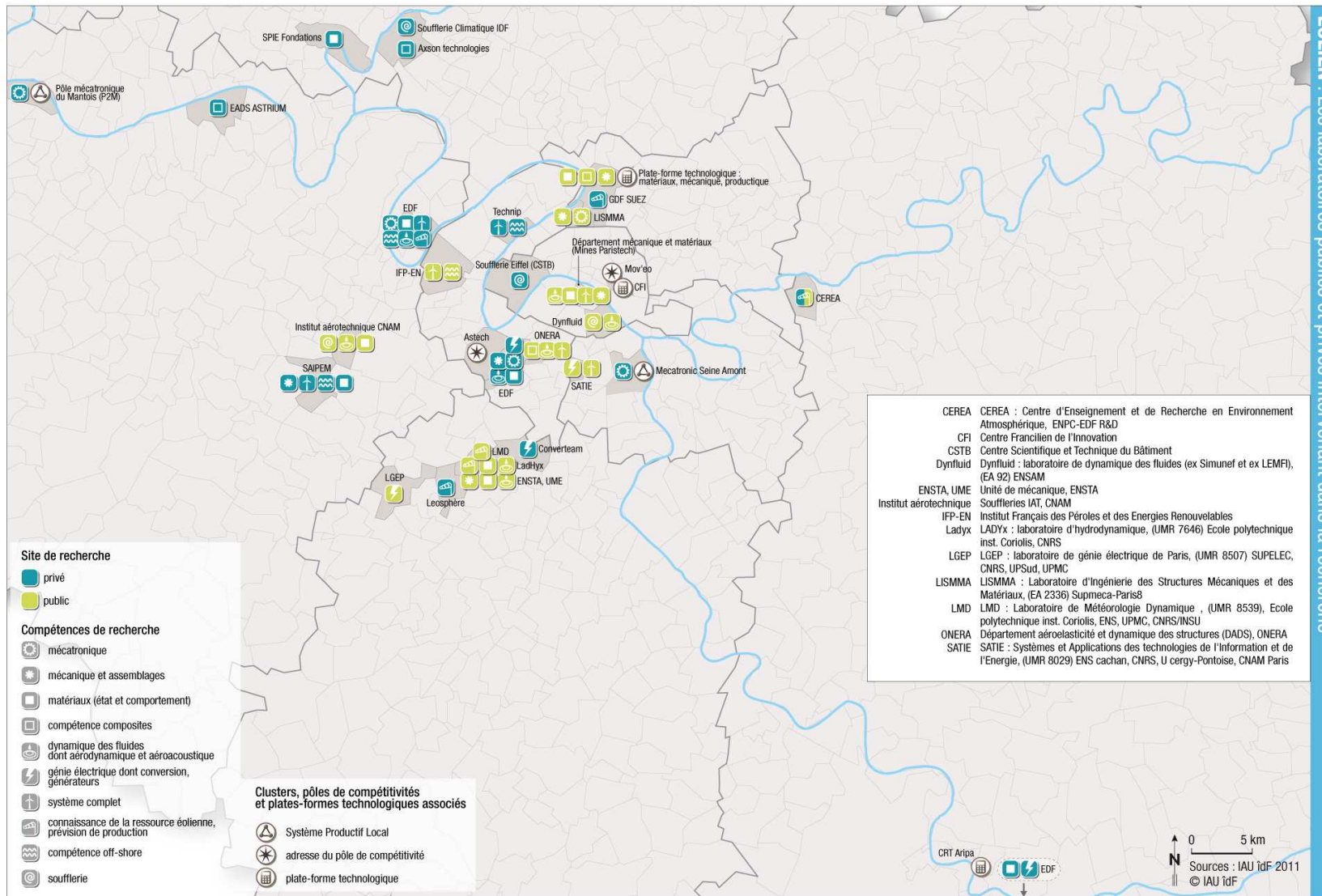
<sup>42</sup> [www.mecatronic-sa.com](http://www.mecatronic-sa.com)

<sup>43</sup> [www.pft2mp.fr](http://www.pft2mp.fr)

<sup>44</sup> [www.innovation-idf.org](http://www.innovation-idf.org)

Laboratoires et centres de recherche impliqués dans la filière éolienne		Compétence de recherche												Ressources	
Ecole/ Université/ organisme de recherche	Laboratoire	durabilité, fatigue matériaux, vibrations, corrosion	mécanique, assemblages	mécatronique	connaissance ressource éolienne	mécanique des fluides	aérodynamique, aéroacoustique, vibrations	milieu marin, hydrodynamique	Mâts ou fondations	générateur	composites	génie électrique (électronique de puissance, conversion électrique)	conception et intégration système	modélisation et simulation numérique	expérimentation, essai dont soufflerie (rouge)
ENSTA	Unité mécanique	x	x			x	x	x					x		
ONERA	département aéroelasticité et dynamique des structures (DADS)	x	x			x	x			x		x	x	x	
Mines Paristech	département mécanique et matériaux	x	x		x					x			x	x	
IFP		x	x									x			
Ecole polytechnique inst. Coriolis	LadHyX	x			x	x							x	x	
CNAM	souffleries IAT	x				x							x	x	
Supméca	LISMMA (Laboratoire d'Ingénierie des Structures Mécaniques et des Matériaux) EA 2336 Supmecca-Paris8		x	x											
Ecole polytechnique inst. Coriolis	LMD : Laboratoire de Météorologie Dynamique , (UMR 8539), Ecole polytechnique inst. Coriolis, ENS, UPMC, CNRS/INSU				x								x		
ENSAM	Dynfluid (laboratoire de dynamique des fluides (ex Simunef et ex LEMFI))					x	x						x	x	
ENS cachan, CNRS, U Cergy-Pontoise, CNAM Paris	SATIE (Systèmes et Applications des technologies de l'Information et de l'Energie), UMR 8029										x	x			
ENPC-EDF R&D	CEREA				x										
SUPELEC, CNRS, UPSud, UPMC	LGEP (laboratoire de génie électrique de Paris), UMR 8507								x		x		x		
CSTB															x
<b>Centres de R&amp;D privés</b>															
Axson technologies										x					
Leosphère					x										
SAIPEM		x	x									x			
SPIE Fondations								x							
Converteam									x		x				
EDF-R&D		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
GDF SUEZ					x										
Technip		x	x									x			
EADS ASTRIUM										x					
<b>Clusters, pôles de compétitivités et plates-formes technologiques associés</b>															
Astech		x	x	x		x				x		x			
Moveo				x											
Pôle mécatronique du Mantois P2M				x											
CFI		x	x	x											
Plate-forme technologique 2MP : matériaux, mécanique, productique		x	x												
SPL Mecatronic Seine Amont				x											
CRT Aripa		x		x											

Source : Traitement IAU-IDF, 2011



#### **6.2.2.4-Des laboratoires potentiellement mobilisables pour la filière**

Comme nous l'avons indiqué en introduction de ce chapitre, cette liste complémentaire de laboratoires est issue d'entretiens, d'informations issues de la presse et surtout d'une revue systématique des laboratoires du CNRS sur des thématiques dont il apparaît qu'elles peuvent potentiellement intéresser l'éolien. Cette revue est donc forcément imparfaite à la fois parce que certaines de ces compétences ne sont peut-être pas véritablement transférables car trop spécifiques mais aussi parce que par manque de temps nous n'avons pas opéré une revue systématique de l'ensemble des autres laboratoires non CNRS issues d'écoles, d'autres grands organismes de recherche ou encore d'institutions diverses, dont le nombre est cependant relativement restreint comparé à celui des laboratoires bénéficiant du label CNRS (568 en IDF, selon la base CNRS).

Nous ne présenterons pas l'ensemble des laboratoires repérés, un tableau offre une vue des compétences potentiellement mobilisables dans le domaine de l'éolien.

Il ressort de cette liste de fortes compétences dans le domaine des matériaux (dont les composites) et de leur comportement (fatigue, durabilité, corrosion...) ainsi que dans la mécanique, notamment le thème des assemblages. L'autre grand domaine de compétences porte sur la mécanique des fluides, l'aérodynamisme, l'aéroélasticité et l'aéroacoustique. On dénombre aussi plusieurs laboratoires ayant des compétences dans le génie électrique et les générateurs ou encore pouvant intervenir dans le domaine de la ressource éolienne. Un laboratoire localisé à Mantes la Jolie a pour thème central la mécatronique.

Dans cet ensemble, il faut particulièrement signaler le CEA qui représente un poids important de par sa masse, ses moyens et son excellence.

#### **Le CEA (Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives)**

Le CEA n'est à notre connaissance actuellement pas directement actif dans l'éolien, cependant une note qui date de 2000 et reste valable quant au potentiel du CEA à travailler dans ces domaines montre l'apport important que pourrait fournir le CEA. Cette note est partiellement reproduite ci-dessous. Ce potentiel concerne l'ensemble des laboratoires du CEA, dont tous les laboratoires ne sont pas implantés en Île-de-France. Il n'en demeure pas moins que le CEA de par ses équipes et ses moyens peut constituer un maillon important dans la structuration d'une recherche francilienne sur l'énergie éolienne. Par ailleurs, le CEA est cité dans le bilan Armines mais uniquement pour les activités de son site de Cadarache.

##### *L'offre scientifique et technologique du CEA<sup>45</sup>*

*« En février 2000, le CEA a transmis à l'ADEME une offre de services pour une intervention potentielle en tant que nouvel opérateur de recherche dans les projets industriels éoliens nationaux co-financés par l'ADEME et impliquant notamment Jeumont Industrie.*

*L'offre du CEA mobilise un ensemble pluridisciplinaire cohérent et complet de compétences et de moyens de calculs et d'essais. C'est notamment le cas dans les domaines du vieillissement et de l'élaboration des matériaux composites des pales, de la mécanique des structures d'une éolienne, des écoulements d'air turbulents et des interactions fluides-structures, de l'instrumentation et de l'électronique de puissance.*

*Cette offre marque la volonté du CEA de contribuer au développement de grandes éoliennes françaises destinées au marché off-shore et, plus généralement, d'apporter durablement son savoir-faire scientifique et technologique à la thématique de l'éolien, dès lors que la demande institutionnelle et industrielle existe. ».*

---

<sup>45</sup> Texte issu d'une note de la Direction de la stratégie et de l'évaluation du CEA disponible à l'adresse suivante : [http://lpsc.in2p3.fr/gpr/Dautreppe/Agator/Agator\\_texte.htm](http://lpsc.in2p3.fr/gpr/Dautreppe/Agator/Agator_texte.htm)

**Laboratoires disposant de compétences intéressant la filière éolienne**

Ecole/ Université/ organisme de recherche	Laboratoire	Compétence de recherche											Ressources	
		durabilité, fatigue matériaux, corrosion	mécanique, assemblages	mécatronique	connaissance ressource éolienne	mécanique des fluides	aérodynamique, aéroacoustique	milieu marin, hydrodynamique	fondations	générateur	composites	génie électrique dont conversion électrique	conception et intégration système	modélisation et simulation numérique
CNAM	LMSSC : Laboratoire de Mécanique des Structures et des Systèmes Couplés, (EA 3196)	x	x			x	x							x
ENSAM	PIMM (Procédés et ingénierie en mécanique et matériaux), UMR 8006 CNRS-ENSAM	x	x							x				
Mines Paristech-CNRS	Centre des matériaux (UMR 7633)	x	x							x			x	x
Polytechnique-Mines- CNRS (UMR 7649)	LMS laboratoire de mécanique des solides	x	x							x			x	
ENS cachan	LMT (laboratoire de mécanique et technologie)	x	x							x			x	x
CNRS-UPMC	Institut Jean Le Rond D'Alembert (UMR 7190), groupes fluides réactifs et turbulences et Mécanique et ingénierie des solides et des structures	x	x											
EDF-CNRS-CEA	LaMSID - Laboratoire de Mécanique des Structures Industrielles Durables UMR EDF/CNRS 2832	x	x					x					x	
CNRS	LIMSI UPR 3251 (Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur), groupes Aérodynamique Instationnaire et transfert solide-fluide	x				x							x	x
ENPC-LCPC-U Paris est- CNRS	UR navier (UMR 8205)	x							x	x			x	
Paris VII	L'océan, (UMR 7159), UPMC, CNRS, Inst. Nat. Hist. Nat, Int. Rech. Dev.	x												
UPMC-CNRS UMR (7075)	LADIR, (Laboratoire de Dynamique, Interactions et Réactivité)	x												
UPMC-CNRS (UPR 15)	LISE (Laboratoire interface et systèmes électrochimiques)	x												
ENSCP-CNRS (UMR 7045)	Laboratoire de physico-chimie des surfaces	x												
Paris Diderot-CNRS (UMR 7086)	ITODYS, Interfaces, Traitements, Organisation et Dynamique des Systèmes	x												
ECOLE CENTRALE PARIS-CNRS	(MSSMAT) Laboratoire de mécanique des sols, structures et matériaux	x											x	
UVSQ	LISV (laboratoire d'ingénierie des systèmes de Versailles), unités MMS (mécanique des matériaux et structures), MIS mécatronique et intégration des systèmes			x								x		
ENSTA, CNRS, Polytechnique, UPSud	LOA (laboratoire d'optique appliquée) UMR 7639				x								x	
CNRS-UPMC, UP Diderot- ESPCIP	Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes (PMMH) UMR 7636, équipe instabilité contrôle et turbulence					x	x						x	x
CNRS-ENSTA-INRIA	Unité mathématique appliquée, équipe POEMS : Propagation des Ondes, Etude Mathématique et Simulation (UMR 7231)					x	x	x					x	
INRIA						x							x	
ESTACA	Laboratoire de commandes et systèmes, laboratoire fluides et énergétique							x					x	
U Paris est-CNRS	Laboratoire de Modélisation et Simulation Multi-Echelle (UMR 8208 CNRS) équipe de mécanique									x			x	
SUPELEC	Département énergie (EA 1400)								x		x		x	
ENPC	CERMICS : Centre d'Enseignement et de Recherche en Mathématiques et Calcul Scientifique, ENPC, UParis est, INRIA												x	
Mines Paristech	département mécanique et matériaux	x	x			x				x			x	x
UParis8-IUT Trembaly	Laboratoire de Mécanique, Matériaux et Modélisation L3M (JE 2483)	x								x				
UP13	Laboratoire des propriétés mécaniques et thermodynamiques des matériaux (LPMTM), (UPR 9001)	x								x			x	x

Source : Traitement IAU-IDF, 2011

# 7- Revue d'actions nationales remarquables en faveur du développement de filières éoliennes

## 7.1- Le Danemark

Le Danemark a été pionnier dans le développement des éoliennes en vue de produire de l'électricité à grande échelle. Désormais, le Danemark est le pays au monde le plus équipé d'éoliennes, si on compare la puissance installée par habitant. **Près de 200 000 familles danoises sont actionnaires de parcs éoliens danois dont ils détiennent collectivement 80% des parts via des coopératives d'habitants logeant à un maximum de 3km autour des fermes éoliennes dont ils sont actionnaires. Ceci a fortement contribué à l'acceptation sociale de la présence d'éoliennes dans le paysage danois<sup>46</sup>.** Grâce à cette politique d'équipement intensive et ancienne assortie d'aides gouvernementales à l'installation puis l'instauration de tarifs de rachat obligatoires de l'électricité produite, il a été possible de mettre sur pied une industrie puissante qui a d'abord servi ce marché intérieur pour ensuite aborder les marchés étrangers européens puis mondiaux.

Alors qu'il a connu jusqu'à 6 constructeurs nationaux, le Danemark compte désormais deux constructeurs indépendants dont les activités sont complémentaires :

1. Norwind qui fabrique des éoliennes d'une puissance moyenne de 0,2 MW à 1,5 MW
2. Le champion national Vestas qui produit des grandes éoliennes de 0,850 MW à 3 MW et qui est une entreprise totalement intégrée puisqu'elle inclue la production de l'ensemble des sous-systèmes composant une éolienne, y compris les pales qu'elle produit au plus près de ses marchés cibles, les mâts, les nacelles, les équipements électriques.

Le Danemark est encore le premier fabricant d'éoliennes au monde. Plus de 30 000 personnes travaillent dans la filière éolienne, qui constitue le troisième poste d'exportation du pays.

Le Danemark est le pays leader en matière de parcs éoliens off-shore. Le premier parc éolien jamais installé en mer l'a été au large des côtes du Danemark (à Vindeby en 1991). Le plus gros parc éolien off-shore danois en fonctionnement est à l'heure actuelle le parc de Horns Rev 2 avec 91 machines et 209 MW.

Au Danemark, **la recherche publique a soutenu de longue date la filière** (voir chapitre 2.3 sur les budgets de R&D nationaux) avec des montants annuels de l'ordre de 10 millions d'euros dans les années 2000 et dépassant 15 millions en 2008. Cette recherche sur l'éolien se concentre au sein de 4 institutions de recherche qui collaborent entre elles pour former le Centre national de recherche sur l'énergie éolienne. Le **centre de Risø concentre les compétences nationales en matière d'énergies renouvelables dont l'éolien**. Il est lié à la Danish Technical University (DTU). Ce centre se penche notamment sur le thème des très grandes éoliennes de 12 MW et de plus de 250 mètres destinées à l'off-shore. Un centre de recherche spécifiquement dédié à cette thématique devrait ouvrir d'ici 2012. Il offrira notamment aux industriels, qui paieront une redevance, des **capacités de test in-situ** pilotées à distance. Un second centre situé sur le même site sera dédié aux composants, notamment les pales. Ce « centre danois pour structures composites et matériaux » a bénéficié d'un financement de l'Etat à hauteur de 5 millions d'euros et fait l'objet d'un partenariat public/privé avec les industriels. Les autres principaux acteurs danois de la recherche publique sur l'éolien sont la Danish Technical University (DTU), le Danish Hydraulic Institute (DHI) l'université d'Aalborg University. L'intensité de la recherche publique danoise a accompagné l'émergence d'une puissante industrie éolienne nationale qui a développé ses principaux centres de R&D dans le pays avec Vestas Wind System et LM Glasfiber, et qui a bénéficié de l'implantation de ceux de plusieurs grands constructeurs mondiaux : Siemens Wind Power, Gamesa, Suzlon Energy.

Aujourd'hui, à côté du développement des implantations d'éoliennes en mer, l'activité se concentre sur le remplacement des anciennes et petites éoliennes par de plus grandes et plus puissantes, que l'on nomme le re-powering.

---

<sup>46</sup> Avant 1996, tous les parcs éoliens danois étaient détenus par des particuliers sous des formes coopératives. La loi impose aujourd'hui que 20% des parcs éoliens danois offrent une participation locale. Depuis les 10 dernières années, ce secteur s'est considérablement développé et professionnalisé et des fonds de placement ouverts au public ont été créés par des firmes spécialisées.

## 7.2 - L'Espagne<sup>47</sup>

L'exemple de la réussite espagnole dans l'éolien est digne d'intérêt car partie avec un peu de retard après le Danemark ou l'Allemagne, l'Espagne a réussi à monter une filière éolienne puissante avec deux constructeurs qui figurent parmi les 10 leaders mondiaux.

Selon l'association professionnelle espagnole des producteurs d'éoliennes (AEE) le secteur compte 30 000 employés en 2010 au sein de 500 entreprises.

La filière a profité de la forte volonté du gouvernement espagnol de développer ce type d'énergie en Espagne afin de réduire la dépendance énergétique et tirer parti de l'importante ressource éolienne dont dispose le pays.

Tout d'abord, on trouve les classiques mesures destinées à soutenir le marché de production locale d'électricité par éoliennes mises en place dès 1994 : aides à l'installation, rachat obligatoire de l'électricité produite à des tarifs attractifs. Cela a conduit l'Espagne à se hisser au 3<sup>e</sup> rang mondial des puissances installées en 2007 avec un parc de 16 700 MW (le parc français est de 3 500 MW à la même époque).

Le gouvernement a participé à la définition de zones maritimes aptes à recevoir des fermes éoliennes puis participé à leur développement avec les entreprises. Il a aussi imposé des codes permettant au réseau d'intégrer dans les meilleures conditions l'énergie issue de ces éoliennes à caractère intermittent, qui peuvent couvrir jusqu'à 28% de la demande d'électricité nationale.

Au-delà des mesures destinées à stimuler le marché, le gouvernement espagnol a choisi de favoriser la recherche en s'appuyant sur les acteurs présents en Espagne : industriels, centres de recherche spécialisés et universités.

Sous l'impulsion des gouvernements régionaux qui souhaitaient voir se développer une industrie locale, un système a été mis en place qui incitait les industriels souhaitant installer des éoliennes à faire bénéficier les territoires des retombées économiques, avec notamment **une incitation à recourir à des fournisseurs locaux**. La conséquence de cette politique a été l'émergence dès 1999 d'entreprises locales disposant des savoir-faire nécessaires pour fabriquer chacun des éléments d'une éolienne : composants tels que pales de rotor, alternateurs, boîtes d'engrenage, tours, capteurs de mesure du vent, etc.

Des entreprises ont émergé qui ont su rassembler l'ensemble des savoir-faire nécessaires pour devenir assembleurs comme Gamesa et Ecotecnia.

Par ailleurs, le développement du marché a attiré d'autres producteurs étrangers qui ont installé en Espagne des unités de production : NEG Micon, Bonus (devenu Siemens), GE Energy et le fabricant leader de pales LM Glasfiber. Ceci a permis de générer et consolider un tissu local de fournisseurs.

Originellement la recherche éolienne espagnole était principalement abritée au sein du CIEMAT (Centre de recherches énergétiques, environnementales et technologiques) dans le département énergies renouvelables. A partir du démarrage de l'éolien en Espagne, les universités ont fortement accru leurs recherches dans ce domaine et les communautés autonomes ont incité le développement de centres de R&D. A cette époque est né en Navarre en 2002 **un centre de recherche pour l'énergie renouvelable** (CENER) qui s'intéresse à toutes les ENR mais plus particulièrement à l'éolien. Ce centre mène des recherches dans le domaine des ENR et propose des services et sites de test pour les entreprises. Le CENER a ainsi ouvert en 2008 un centre de recherche spécialement dédié à l'éolien qui est à cette date **le plus grand centre mondial** dans ce domaine avec notamment des possibilités de tester des démonstrateurs d'une puissance allant jusqu'à 8MW.

Le site propose notamment des tests de fatigue générale de la structure, des pales qui deviennent des éléments critiques de l'éolienne à mesure qu'elles s'agrandissent et un site de test d'assemblage pour optimiser cette phase qui suivant les cas et les localisations représente de 10% à 35% du coût total d'une éolienne.

Le directeur général du site souligne que le CENER permet aux entreprises d'économiser de l'argent et du temps et que de plus toutes ne sont pas capables de payer de tels équipements. Ce centre de

---

<sup>47</sup> Sources : "Wind power in Spain" Technology review ; et « Leçons tirées de la réussite des fabricants d'aérogénérateurs en Espagne » : ministère canadien de l'industrie [http://www.ic.gc.ca/eic/site/rei-ier.nsf/vwapj/supplychain-chaineapprov\\_fra.pdf/\\$file/supplychain-chaineapprov\\_fra.pdf](http://www.ic.gc.ca/eic/site/rei-ier.nsf/vwapj/supplychain-chaineapprov_fra.pdf/$file/supplychain-chaineapprov_fra.pdf)

test offre de plus un environnement contrôlé contrairement aux tests opérés in-situ sur des sites en exploitation. Dans cette optique le CENER se dote d'une ferme expérimentale de 30MW.

L'ambassade de du Canada a mené en 2004 une mission de benchmark en Espagne sur la question de l'éolien, elle en tire comme principale conclusion :

*« Voici ce que répond un intervenant bien au fait de l'industrie éolienne en Espagne à la question de savoir comment un pays peut s'y prendre pour implanter une industrie viable de la fabrication d'aérogénérateurs : Prévoir un minimum d'entre 500 MW et 800 MW par fabricant pendant cinq ans au moins afin de soutenir le développement de l'investissement et l'expansion des entreprises.*

*Il faut au minimum deux ou trois grands fabricants d'aérogénérateurs pour permettre l'édification d'une chaîne d'approvisionnement apte à alimenter le marché national. Un plan national de cinq ans devrait se baser sur une capacité de production de 5 ans x 2,5 fournisseurs x 650 MW par an par fournisseur, ce qui fait 8 000 MW.*

*Une part de la production totale serait exportée. La part moyenne destinée à l'exportation étant de 25 %, il faut une capacité nationale totale d'installation de 6 000 MW pendant cinq ans pour attirer les investissements et créer une industrie locale viable de fabrication d'aérogénérateurs. Tel est le cas en Espagne depuis quelques années. La réussite espagnole est peut-être impossible à reproduire au Canada, mais ces renseignements indiquent tout de même aux intervenants canadiens les conditions nécessaires à l'édification d'une industrie locale viable de l'énergie éolienne. »*

## 7.3 - Le Canada<sup>48</sup>

Autre pays en retard par rapport aux principaux pays abritant une industrie éolienne, le Canada s'est inspiré du modèle espagnol pour définir une stratégie de rattrapage.

Le ministère canadien a identifié les segments d'activité pour lesquels le Canada dispose de ressources internes. Ces segments se portent sur les composants ou des services plus que sur une offre complète jugée inaccessible en l'état actuel des choses.

Il préconise un soutien de l'Etat pour appuyer le développement des fournisseurs avec différentes actions réparties dans le temps :

A) Dans un premier temps :

- 1 Informer et rencontrer les industriels pouvant contribuer à la filière
- 2 Aider ces industriels à acquérir les savoir-faire nécessaires par des aides au transfert de technologie

B) Dans un second temps à un horizon de 3 à 5 ans :

Mettre sur pied un plan de développement de la filière avec les éléments suivants :

3. Développer un marché national par des incitations comme un tarif de rachat obligatoire et incitatif
4. Appuyer financièrement le développement des entreprises présentes sur le territoire par le transfert de technologie, le financement de la commercialisation, du prototypage essais et qualification, les incitations fiscales à l'achat de biens d'équipements, le financement de la formation, le ciblage et l'incitation destinée aux chefs de file étrangers pour qu'ils s'implantent au Canada
5. Un plan national de R&D Eolien comme il en existe pour l'automobile ou l'aéronautique
6. La modernisation des équipements d'essai d'éoliennes en les dotant de personnel et de matériel les plus en pointe

**La démarche française Windustry telle qu'elle a été initiée, se rapproche de la première étape de cette stratégie canadienne. Certaines des actions décrites ici relèvent aussi, pour le cas de la France, en partie de compétences régionales dans la mesure où une action volontariste dans ce domaine serait actée.**

---

<sup>48</sup> « Étude des capacités de la chaîne d'approvisionnement de l'industrie canadienne de l'énergie éolienne » : nov 2004, Ministère canadien de l'industrie, [http://www.ic.gc.ca/eic/site/rei-ier.nsf/vwapj/supplychain-chaineapprov\\_fra.pdf/\\$file/supplychain-chaineapprov\\_fra.pdf](http://www.ic.gc.ca/eic/site/rei-ier.nsf/vwapj/supplychain-chaineapprov_fra.pdf/$file/supplychain-chaineapprov_fra.pdf)



## 7.4 - Le petit éolien au Royaume-Uni

Le Royaume-Uni est le second pays mondial pour le développement du petit éolien derrière les USA, à la fois en termes de marché mais aussi en termes de structuration de la filière.

Selon l'AWEA<sup>49</sup>, le marché mondial du petit éolien a porté sur 21 000 unités vendues en 2009 dont 9 800 aux USA. Par ailleurs il estime que 250 producteurs sont actifs mondialement dans le petit éolien dont 95 sont nord-américains. Les constructeurs américains occupent 95% de leur marché national.

Au niveau britannique, le BWEA<sup>50</sup> estimait en 2009 que près de 3 300 turbines avaient été commercialisées au Royaume-Uni, représentant un marché de l'ordre de 20 millions d'Euros. Ces 3 300 turbines représentaient une puissance cumulée de 8,6 MW soit l'équivalent de 4 éoliennes terrestres couramment installées en 2009.

Les constructeurs britanniques employaient directement à cette date 1 750 personnes. Le BWEA estime que pour chaque emploi direct par les constructeurs, 2 emplois sont générés chez les fournisseurs ainsi que 2 emplois en aval chez les distributeurs et installateurs. La filière du petit éolien britannique représenterait ainsi de l'ordre de 9 000 emplois.

Le BEWEA recense une vingtaine de constructeurs qui servent aussi bien leur marché domestique que l'exportation.

A ce jour (données 2009) on compte 14 000 unités installées au Royaume-Uni et le BEWEA prévoit un parc cumulé de 30 000 unités en 2011.

Les constructeurs britanniques occupent 75% de leur marché domestique. Parallèlement leurs ventes à l'exportation représentaient 4 450 machines supplémentaires en 2009, (soit 59% de leur production), générant un CA de l'ordre de 8 millions d'euros.

Le marché britannique a progressé de 30% par rapport à 2006, date à laquelle environ 2 200 machines avaient été vendues pour 3 300 machines en 2009. Cependant on note une baisse du nombre de machines commercialisées depuis 2007 liée à la progression des puissances installées (2,6 KW en moyenne contre 2 KW en 2008), comme en atteste la poursuite de la hausse du chiffre d'affaires.

La majorité des éoliennes commercialisées au Royaume-Uni en 2009 étaient installées hors réseau<sup>51</sup> (2040 unités soit 62%) tandis que seules 1 200 unités étaient reliées au réseau.

De même la majorité des ventes concernait des installations pour site isolé (89%), tandis que les ventes en éolien monté (sur toit) ne représentent que 11% des ventes.

Concernant les éoliennes montées sur toit, des expérimentations insitu ont été réalisées afin de **comparer les performances affichées des machines avec les performances réelles sur site**. Cette campagne de test baptisée « Warwick wind trials »<sup>52</sup> a été menée entre 2006 et 2008 par un bureau d'études indépendant et a reçu l'appui du ministère britannique de l'énergie, du BEWEA et du comté de Warwick. Les principales conclusions de l'étude rendue publique en 2009 étaient que la production réelle des éoliennes était en moyenne inférieure de 40% à ce qui était affiché par les constructeurs à niveau de vent comparable et que la production de l'éolienne était aussi fortement impactée par le choix d'implantation. Il apparaissait ainsi un besoin d'améliorer la connaissance du potentiel éolien des sites urbains sur toits, notamment de **se doter de méthodes robustes de prédiction de la vitesse moyenne du vent**. Il apparaissait aussi un besoin de **créer un standard industriel qui normaliserait les méthodes d'évaluation des performances des machines** et fixerait les conditions de publication des résultats.

---

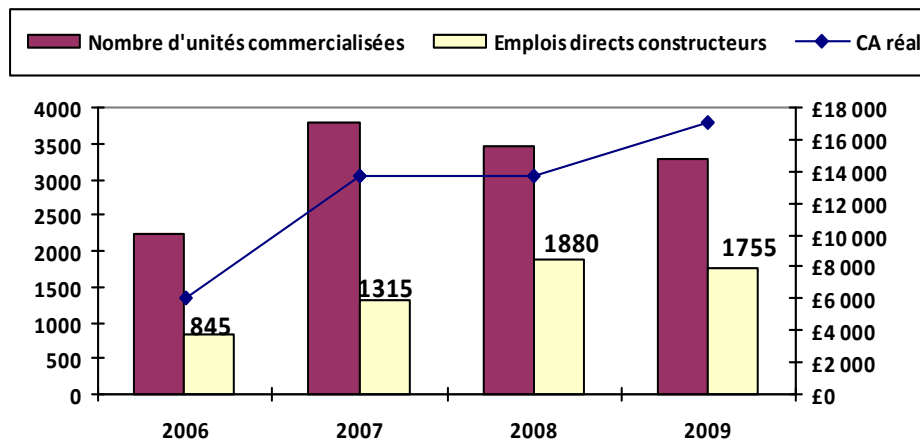
<sup>49</sup> "AWEA small wind turbine global market study 2010", American wind energy association

<sup>50</sup> Source : BWEA SWS UK market report 2010, British wind energy association

<sup>51</sup> Les éoliennes installées hors réseau ne sont pas raccordées au réseau électrique et sont donc utilisées exclusivement pour les besoins propres du propriétaire

<sup>52</sup> <http://www.warwickwindtrials.org.uk/index.html>

## Evolution du marché britannique du petit éolien et des emplois directs associés



Source : BWEA SWS UK market report 2010

L'AWEA de son côté indique que seuls 17 fabricants mondiaux produisent des éoliennes destinées à être installées sur des toits et que le marché américain sur l'éolien monté (sur toit) est anecdotique (2% du marché US en 2009).

Les limites au développement du petit éolien monté portent selon l'AWEA sur la difficulté à prévoir la disponibilité en vent des sites urbains qui sont à chaque fois des cas particuliers et qui génèrent des turbulences qui réduisent fortement le rendement des machines.

Les raisons du développement du petit éolien au Royaume Uni sont à rechercher du côté de la réglementation sur l'urbanisme qui a assoupli les conditions pour l'installation de petites installations en 2008 (pour le PV, les pompes à chaleur et la biomasse thermique) puis en 2010 pour le petit éolien et les pompes à chaleur à air<sup>53</sup>. Le « permitted development right » permet désormais aux particuliers d'installer des équipements de génération de faible puissance dans leur propriété sans avoir à attendre un accord express de l'autorité de planification. Il existe cependant des conditions à respecter comme notamment le fait de ne pas se trouver dans un périmètre de sauvegarde du patrimoine et que l'équipement ne dégrade pas la qualité paysagère. L'installation doit surtout respecter le « *Microgeneration Certification Scheme* », schéma de certification de la microgénération<sup>54</sup>. Ce schéma de niveau national établit des standards clairs pour renforcer la confiance des particuliers dans la technologie de la microgénération et favoriser l'émergence d'une industrie nationale durable.

Ce schéma inclut des certificats pour les produits (avec notamment une limite de bruit à 45db pour les générateurs) et les installateurs assortis d'un code de bonnes pratiques.

Les demandes d'installations de petit éolien par des particuliers ne seront accordées qu'à condition qu'elles soient réalisées et installées par un professionnel certifié qui endossera la responsabilité de la conformité de l'appareil à la réglementation sur le bruit au moment de l'installation.

De même les développements non résidentiels bénéficient de procédures administratives allégées et de délais raccourcis.

Il est espéré un fort développement du petit éolien au Royaume-Uni, avec un doublement attendu des ventes domestiques dès 2010 par rapport à 2009 et un triplement dès 2011. En effet, la révision en avril 2010 du tarif de rachat pour installations créées entre le 15 avril 2009 et mars 2010 inclut le petit éolien<sup>55</sup>. Ce tarif varie de 26.7 pences par kWh pour des installations de 1,5 à 15 kW à 34.5 pences par kWh pour des installations de moins de 1,5 kW. A noter qu'il est de 41 pences au maximum pour le solaire. Le tarif de rachat s'est substitué à la subvention d'installation attribuée dans le cadre du programme national de bâtiment à basses émissions de carbone.

<sup>53</sup> Source : Permitted Development Rights, House of common's library, 23 août 2010

<sup>54</sup> [www.microgenerationcertification.org](http://www.microgenerationcertification.org)

<sup>55</sup> [www.energysavingtrust.org.uk/Generate-your-own-energy/Sell-your-own-energy/Feed-in-Tariff-scheme](http://www.energysavingtrust.org.uk/Generate-your-own-energy/Sell-your-own-energy/Feed-in-Tariff-scheme)

#### **Parmi les actions étrangères remarquables citons**

- Informer et accompagner les entreprises qui peuvent et souhaitent entrer dans la filière
- Cibler des axes de recherche nationaux permettant de rassembler les compétences domestiques et créer des centres de recherche (dont certains à l'initiative des régions) dédiés à l'éolien, en lien avec les industriels, avec notamment offre de services et sites de test in-situ
- Favoriser le recours aux fournisseurs locaux par les investisseurs étrangers souhaitant développer des parcs éoliens
- Favoriser l'implication financière des populations locales et un intéressement aux résultats pour une meilleure acceptation de l'implantation des éoliennes
- Mener des expérimentations grandeur nature à grande échelle pour le petit éolien afin d'en tirer des enseignements pouvant faire avancer la filière

## **7.5 Expériences régionales de structuration de la filière éolienne en France**

### **7.5.1 La Région Centre<sup>56</sup>**

La Région Centre accueille un des seuls fabricants français d'éoliennes Vergnet qui s'est spécialisé dans les éoliennes de moyenne puissance à destination des marchés soumis à des régimes cycloniques. Elle souhaite renforcer la présence de son tissu de fournisseurs locaux.

A cet effet, la Région Centre a commandé une étude sur la filière éolienne régionale réalisée en 2008. Il s'agissait d'identifier les acteurs locaux, leur positionnement dans la filière et la possibilité de mobiliser de nouveaux acteurs industriels régionaux sur les segments encore accessibles de la filière. Enfin l'objectif était d'aider les collectivités à monter un plan d'action collectif et individuel.

Nous livrons ici les principales conclusions de cette expertise :

On observe une concentration géographique de fournisseurs autour du producteur Vergnet, avec notamment le fournisseur de turbines Leroy-Somer et deux autres fournisseurs d'équipements Stroomag et Ainelec, un fournisseur intervenant au niveau des pales (solutions composites) et deux fournisseurs intervenant au niveau des mâts et embases. Au total l'étude compte 14 entreprises très impliquées dans l'éolien avec 350 à 400 emplois directs.

L'étude a identifié des besoins encore non résolus dans la sous-traitance mécanique et l'usinage : ingénierie mécanique, mécano-soudure et traitement de surface, usinage de grande dimension, la fourniture de petites pièces de composite au niveau des pales et nacelles et du côté de la mise en œuvre du câblage et de la serrurerie, de la maintenance électromécanique et du monitoring.

Il s'est agi ensuite de repérer et d'approcher des entreprises locales pouvant répondre à ces besoins et leur proposer une diversification de leur activité dans ce domaine. Sur 36 entreprises régionales approchées et pouvant répondre à ces demandes, 18 se sont dites intéressées.

Au niveau du plan de développement régional l'étude souligne le besoin de formation pour accompagner l'entrée de ces entreprises dans la filière de l'éolien en se focalisant notamment sur les métiers en tension : techniciens et ingénieurs en systèmes électriques, ouvriers, techniciens et ingénieurs en structures mécaniques, chaudronniers, techniciens en maintenance éolienne...

Il est proposé de mettre en place des formations adaptées (cursus ou modules) tous niveaux (université, écoles d'ingénieur, GRETA et CFA).

---

<sup>56</sup> [http://www.regioncentre.fr/jahia/webdav/site/portail/shared/mediatheque/etudes/Economie/Etude-Filiere-de-l-Eolien\\_region-Centre.pdf](http://www.regioncentre.fr/jahia/webdav/site/portail/shared/mediatheque/etudes/Economie/Etude-Filiere-de-l-Eolien_region-Centre.pdf)

L'étude souligne la méconnaissance des ressources R&D locale y compris par les acteurs industriels régionaux. Ceci implique des missions d'information et de communication.

**A retenir de cette expérience :**

- Un important besoin **d'information sur les partenariats locaux potentiels** tant en matière industrielle que de R&D
- Une **implication active des pouvoirs publics** en vue d'identifier des acteurs potentiels de la filière
- La mise en place de **sessions de formation continue** pour accompagner les entreprises souhaitant entrer dans la chaîne de valeur de l'éolien

## 7.5.2- Le Pôle éolien lorrain<sup>57</sup>

Le pôle éolien lorrain est né en 2005 sous l'impulsion d'acteurs industriels qui ont sollicité l'appui de la CCI de Nancy pour les aider à se structurer.

Au total 13 entreprises forment le pôle, avec une majorité d'entreprises issues de la mécanique et de la métallurgie, ainsi que des entreprises œuvrant dans le domaine de la maintenance. Le pôle compte deux grandes entreprises de dimension internationale avec Converteam, constructeur de turbines pour éoliennes et Manoir Industrie dont l'activité porte sur l'estampage, la forge, l'usinage et la mécano-soudure.

Plusieurs bureaux d'études sont membres du pôle ainsi que des développeurs de parcs dont une filiale d'EDF. Le pôle s'appuie enfin sur les compétences du CRITT métal 2T spécialisé dans les matériaux, le traitement de surface et les matériaux innovants et qui forme le 14<sup>e</sup> membre du pôle.

Grâce aux cotisations de ses adhérents et avec le soutien du Conseil Régional de Lorraine, des services de l'Etat (ex Drire) et du Fonds européen de développement régional (Feder), le pôle s'est doté d'une structure pérenne avec un salarié à plein temps.

Les activités du pôle portent principalement sur des actions communes de communication, avec une présence sur les salons européens spécialisés sous la même bannière. Un site internet présente le cluster, sa démarche et propose la liste détaillée des acteurs du pôle avec leurs compétences assortie d'une carte interactive de localisation.

L'ambition du pôle est de permettre à ses membres de se positionner en tant que sous-traitants spécialisés auprès de constructeurs d'éoliennes de dimension internationale, en s'appuyant notamment sur le développement du marché de l'éolien en France, et plus spécifiquement dans la zone nord et est.

Ainsi, malgré le fait que les capacités de production des constructeurs soient actuellement excédentaires, les membres du pôle parient sur la forte progression de la demande pour intégrer la chaîne de valeur en tant que fournisseur de capacité au moins dans un premier temps. Certains acteurs souhaitent profiter d'avancées technologiques pour intégrer la chaîne de fournisseurs des grands constructeurs qui reste très difficile d'accès pour des acteurs français de petite taille.

Les membres du pôle visent surtout la maintenance des éoliennes, selon deux voies possibles qui ne sont pas exclusives l'une de l'autre :

Devenir sous-traitant des constructeurs pour la maintenance de leurs machines tant que leur garantie constructeur court, ou offrir des prestations de maintenance auprès des gestionnaires de sites une fois la garantie constructeur terminée.

Le groupement souhaite profiter des synergies entre membres entre lesquels il n'existe pas de concurrence. Cela n'implique pas que tous les membres répondent solidairement aux appels d'offres, même si 3 des membres ont décidé de créer un GIE pour répondre à un appel d'offres de maintenance. Cette volonté de synergie en interne ne semble toutefois pas trouver d'équivalent au

---

<sup>57</sup> Voir le site : [www.windenergy4lorraine.com](http://www.windenergy4lorraine.com)

niveau national puis qu'il n'y a pas pour l'heure de stratégie affichée de coopération avec d'autres clusters éoliens français.

Le cluster souhaite s'appuyer sur la complexité administrative française pour proposer une offre alternative à destination des constructeurs, mêlant offre de service de maintenance et assistance à montage de dossier administratif face à des concurrents étrangers qui ne connaissent pas le système français.

**Points saillants de cette expérience et facteurs de réussite :**

- Une structuration uniquement axée sur l'offre de sous-traitance
- Une vision a minima mais pragmatique d'un cluster éolien
- Une différenciation basée sur une offre couplée industrielle et de service en prenant appui sur ce qui constitue un handicap pour la filière au niveau national : la complexité administrative.

### 7.5.3- Le cluster éolien bourguignon

Le cluster éolien bourguignon Wind4Future est né en juin 2010 d'une initiative conjointe d'industriels œuvrant dans l'éolien, de la Région Bourgogne et de l'Agence de développement de la région Bourgogne développement.

Partant du constat qu'il existait un tissu d'acteurs actifs dans l'éolien et que de nouvelles entreprises ayant pour activité principale l'éolien s'implantaient sur le territoire, les acteurs publics et privés ont décidé d'organiser les acteurs de la filière.

Ce travail a débuté par un recensement et une cartographie des acteurs industriels et de services, aboutissant à une liste de 30 entreprises. Les acteurs ont rapidement constaté qu'ils se connaissaient mal voire pas du tout et que la mise en place d'une structure fédérative serait souhaitable pour générer un effet cluster.

L'ensemble des acteurs impliqués ont choisi la date du 15 juin, qui correspond au Wind Day, journée mondiale de l'éolien, pour annoncer leur projet de cluster.

A côté des acteurs précédemment cités, les CCI, les services décentralisés de l'Etat, l'UIMM, le CETIM et la CDC ont participé à la création de l'association Wind4future en septembre 2010.

Du côté des industriels, l'action a été portée par le constructeur de mâts Céole nouvellement implanté dont le PDG est par ailleurs Vice-Président du FEE-SER<sup>58</sup>.

L'implication du constructeur de mâts a été un élément clé pour attirer les acteurs identifiés dans l'atlas. L'autre élément de réussite a été la décision de doter cette structure d'un bureau majoritairement composé de membres émanant des entreprises et de réserver les 2/3 des sièges du CA aux entreprises dont 1/3 aux PME. Les autres membres du CA émanent des collectivités territoriales, ainsi que du monde associatif avec notamment une association nommée VARNE qui se propose de développer le concept de parc éolien participatif.

Le choix de créer cette association a aussi été dicté par la volonté de participer au second appel national de labellisation de cluster pour lequel un dossier a été déposé en octobre 2010.

La candidature de Wind4future a été retenue par la DATAR début 2011, ce qui permettra d'apporter des ressources financières supplémentaires.

Les ressources de l'association proviennent en effet principalement des cotisations des membres auxquelles s'ajouteront celles de la DATAR puis un complément apporté par les collectivités territoriales.

Ces ressources permettront de recruter deux personnes à temps plein pour mener l'animation.

**Les objectifs principaux du cluster :**

Le site du cluster indique : « *Wind4future s'attachera à poursuivre le développement d'une offre la plus large possible dans la conception, fabrication, la maintenance, l'entretien et la réparation, des différents composants d'éoliennes de toutes dimensions.* »

---

<sup>58</sup> Fédération des entreprises de l'éolien, branche éolienne du Syndicat des énergies renouvelables.

Plus concrètement il s'agit pour l'association de :

- créer des synergies entre les entreprises
- favoriser le développement d'affaires
- favoriser le référencement des entreprises membres auprès des grands donneurs d'ordres dans la ligne de la démarche nationale Windustry
- valoriser les métiers et les savoir-faire
- développer des actions et des projets collaboratifs
- développer des actions en vue de renforcer l'acceptabilité sociale des éoliennes

In fine, l'objectif est de développer l'emploi de la filière en portant celui-ci à 5 000 emplois contre 1 000 actuellement en Bourgogne.

L'animateur de la filière précise qu'un des principaux objectifs de l'association est de parvenir à une sous-traitance nationale de 90% du coût total des éoliennes qui seront implantées en France.

Ceci est possible compte-tenu du fait que déjà les principaux éléments les plus difficiles à transporter que sont les mâts et les pales, et qui de fait sont plutôt fabriqués localement, représentent à eux seuls près de 50% du coût total d'une éolienne. Par ailleurs, la volonté de l'Etat de créer une filière nationale et l'intégration de critères environnementaux dans les appels d'offres sur les parcs éoliens, comme cela se fait dans les autres pays sera de nature à renforcer le recours à une sous-traitance nationale.

L'association ne se perçoit pas comme concurrente des autres clusters éoliens français. Partant du constat que ses membres sont majoritairement des industriels issus de la métallurgie et de la mécanique, l'association cherche à nouer des contacts avec les autres clusters français sur la base de la complémentarité.

L'idée est de proposer une offre couvrant au maximum la chaîne d'approvisionnement des constructeurs intéressés par le marché français.

Le cluster bourguignon a ainsi identifié de fortes synergies avec le cluster Aquitain qui dispose de compétences dans les composites et les pales.

Les membres de l'association restent ouverts à d'autres partenariats de ce type, notamment dans le domaine de la conversion d'énergie et plus généralement dans le domaine de la recherche.

Le cluster souhaite aussi miser sur la R&D, soit en s'appuyant sur des ressources locales : Université de Bourgogne et l'IUT du Creusot, soit sur des ressources extérieures comme par exemple des pôles de compétitivité spécialisés ENR comme Tenerrdis en Rhône-Alpes ou Derbi en Languedoc-Roussillon. Les acteurs du cluster sont particulièrement intéressés par des compétences en R&D sur la thématique du traitement de surface.

### **Les marchés cibles du cluster**

Les acteurs du cluster se positionnent sur l'ensemble du marché français du grand éolien terrestre notamment la zone nord et est de la France, l'éolien off-shore étant pour eux relativement éloigné géographiquement. Il se positionne aussi sur le petit éolien avec notamment une expérience d'éolienne en bordure d'autoroute A6 pour alimenter les panneaux d'information routière et dont la ressource en vent provient du passage des nombreux camions sur cet axe.

Le cluster souhaite encourager les pratiques visant à développer la participation des citoyens au capital des parcs éoliens locaux. Il souligne qu'une autre piste porte sur une meilleure articulation entre les acteurs chargés de gérer le développement de parcs, ainsi qu'une meilleure distribution des revenus tirés de ces parcs, en y incluant notamment la Région qui est à l'origine du plan air, énergie, climat.

### **Points saillants de cette expérience et facteurs de réussite :**

- relations étroites entre industriels et Conseil régional
- avoir su « attraper au vol » la labellisation de SPL/cluster
- miser sur la coopération avec d'autres SPL en jouant de la complémentarité
- miser sur le développement du marché local en jouant sur le renforcement de l'acceptabilité sociale

## 7.5.4- Le petit éolien urbain dans le pays de l'Aude

Le pays de l'Aude fait figure de pionnier en matière de petit éolien, il abrite le centre d'essai du petit éolien national (SEPEN)<sup>59</sup> créé en 2004 et géré depuis janvier 2011 par le pôle énergie11.

Le pôle énergie11<sup>60</sup> constitue un centre de ressources en matière d'économies d'énergies et d'énergies renouvelables, dont la valorisation passe par différentes formes (site internet, colloque...). Il souhaite se positionner comme un catalyseur de partenariats entre acteurs locaux.

Il se positionne en particulier sur les énergies suivantes : bois énergie, solaire thermique, agrocarburants et électricité « verte ».

Il bénéficie du financement du Conseil général de l'Aude, le Conseil régional Languedoc-Roussillon, l'ADEME Languedoc-Roussillon et l'Union européenne (fonds FEDER).

Le pôle énergie11 a émergé à la fin 2006 pour répondre à la demande d'un groupement de 50 agriculteurs qui souhaitaient diversifier leur approvisionnement énergétique et s'orienter vers les ENR. Ce groupement appuyé par la Chambre d'agriculture s'est tourné vers le CAUE11<sup>61</sup>. Si les thématiques agrocarburants et photovoltaïques ont pu être traitées relativement aisément, Il est rapidement apparu un important déficit d'information concernant le petit éolien et ses performances réelles alors qu'il n'existait (et n'existe toujours pas) de norme industrielle concernant les petits aérogénérateurs. L'éolien en général subissait de plus les effets d'un rejet de plus en plus marqué de la part des populations face à l'installation vécue comme envahissante de grandes fermes éoliennes qui souhaitaient profiter des ressources éoliennes très abondantes dans la région.

Pour aider les agriculteurs à s'équiper collectivement avec les meilleures machines disponibles, il a été décidé de mettre en place un site de test sur un terrain prêté par un des exploitants agricoles. Ce site de Malbouissou permet de tester 3 machines d'une puissance de 10 KW à 36KW. Il complète l'offre du site originel du SEPEN qui était ciblé sur les machines de 0,2 à 10 KW. Ce site équipé d'un mât et d'instruments de mesures devait permettre un test in situ d'éoliennes retenues suite à un appel d'offres organisé par le CAUE11 en 2008. Cet appel à projet baptisé « petit éolien paysan » était formulé comme suit :

*« Dans le cadre du projet collectif « petit éolien paysan dans l'ouest audois », la Chambre d'Agriculture de l'Aude lance un appel à candidature auprès des professionnels du petit éolien, Français et étrangers, fabricants ou distributeurs, pour l'installation d'aérogénérateurs de 10 à 36 kW. Après examen des propositions, les machines sélectionnées seront installées à partir du premier semestre 2008 sur un site d'essai près de Castelnaudary. Elles seront testées durant plusieurs mois par des bureaux d'études indépendants qui font autorité dans le petit éolien. Si cette campagne d'essai est concluante, les aérogénérateurs seront ensuite proposés à la vente auprès du groupe d'agriculteurs déjà constitué, fort à ce jour de 47 membres.*

*Ce projet collectif bénéficie de l'assistance technique du Conseil en Architecture Urbanisme et Environnement de l'Aude, ainsi que du soutien financier du Conseil Régional Languedoc-Roussillon et de l'ADEME. »*

Cet appel d'offres international a permis de recueillir 10 candidatures d'entreprises dont 1 des USA, ainsi que des entreprises européennes : Pays-Bas, Danemark, Grande Bretagne, en plus de quelques acteurs français. L'ensemble des sites des exploitants agricoles ont fait l'objet d'une campagne préalable de mesure de vents qui a été réalisée avec l'appui de l'Education nationale associée au projet à travers la plate-forme technologique de l'Aude<sup>62</sup>. Celle-ci rassemble plusieurs écoles et lycées d'enseignement technique autour de la thématique « Mesure et analyse portable ». Ces campagnes de mesure ont servi d'outil pédagogique à la fois pour les élèves des lycées impliqués dont certains deviendraient de futurs installateurs.

---

<sup>59</sup> [www.sepen-montplaisir.fr](http://www.sepen-montplaisir.fr)

<sup>60</sup> [www.pole-energies11.org](http://www.pole-energies11.org)

<sup>61</sup> Le CAUE (Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et d'Environnement) a pour rôle d'aider et conseiller le public aux règles régissant l'Architecture, l'urbanisme et l'environnement. Il existe environ un CAUE par département.

<sup>62</sup> [www.lyceejeulofil.com/spip/Presentation-du-Transfert-de.html](http://www.lyceejeulofil.com/spip/Presentation-du-Transfert-de.html)

En 2010, à la demande de l'ADEME, les sites d'essai de l'Aude ont fusionné sous la bannière du SEPEN qui devient un site de niveau national et par conséquent est renommé « site expérimental pour le petit éolien national ». Le pôle énergie11 en assure la gestion avec un budget couvert à 80% par L'ADEME.

Les activités du SEPEN portent sur :

- La mesure des conditions de vent du site (vitesse, orientation, turbulences).
- La mesure de la production d'énergie électrique des machines en fonction du potentiel éolien,
- L'évaluation de la qualité du courant électrique produit,
- Les mesures des niveaux sonores aux fréquences audibles en fonction des vitesses de vent dans l'environnement des machines,

A ce jour 21 éoliennes ont fait l'objet de tests pour une durée maximum de 6 mois chacun, l'ensemble des deux sites pouvant accueillir 7 machines. Au début 2011 la liste d'attente comptait 15 essais.

Le SEPEN a développé des collaborations avec le pôle de compétitivité Derbi, ce qui lui ouvre la voie vers des financements de recherche et une plus grande visibilité internationale, tout en offrant à ce dernier une composante éolienne industrielle, dont il était relativement dépourvu. Par contre le SEPEN n'entretient à ce jour pas de collaboration avec le CSTB et son site de Nantes (voir plus bas) qui est perçu comme complémentaire dans le sens où cet organisme a selon le SEPEN clairement vocation à travailler sur l'éolien intégré au bâti.

Fort de cet outil, la Région Languedoc Roussillon souhaite dynamiser une filière du petit éolien et a décidé de maintenir son aide à l'installation de petites éoliennes pour 2010 à hauteur de 25% de l'investissement sur une base maximum de 60 000€ d'investissement, sous condition de s'équiper de machines ayant subi un test par un des organismes reconnus dont le SEPEN. Les conditions étaient indiquées comme suit sur son site : « *Après avoir longtemps débattu de l'opportunité de maintenir un dispositif d'aide un peu trop souple qui a parfois soutenu des installations dont la production s'est avérée décevante, la Région Languedoc Roussillon a finalement décidé de maintenir son soutien au petit éolien dans la forme de 2009. Les petites éoliennes bénéficieront donc toujours d'une subvention de 25% conditionné par leur test par un organisme indépendant (NREL (USA), CIEMAT (Espagne) et évidemment le SEPEN qui est le fer de lance local de la validation des éoliennes).* »

Par ailleurs, le pôle énergie11 a rédigé à la demande de l'ADEME un guide du petit éolien et a travaillé sur un référentiel pour la formation des installateurs. D'autres régions françaises se sont lancées dans la structuration d'une filière du petit éolien, au premier rang desquelles la région Rhône-Alpes et la région Poitou Charente. La région Languedoc Roussillon s'est rapprochée de la Région Rhône-Alpes pour travailler sur une harmonisation des référentiels installateurs.

Enfin, depuis la fin 2010, la création à Narbonne de L'Association française des professionnels du petit éolien<sup>63</sup> (AFPPE) contribue à renforcer la visibilité de la région Languedoc Roussillon sur la thématique du petit éolien. A sa fondation, l'association rassemblait 30 adhérents issus de la France entière qui comptaient au total 600 emplois.

**Points saillants de cette expérience et facteurs de réussite :**

- Un cluster en devenir sur le petit éolien en site ouvert
- Un positionnement sur une niche : le test et la certification de petites éoliennes en site ouvert, qui permet de se démarquer
- Une initiative qui s'est appuyée à l'origine sur une demande locale, permettant de développer un marché local et qui a de plus permis de renforcer l'acceptabilité sociale des éoliennes
- La mobilisation de l'Education nationale et de la plate-forme technologique de l'Aude autour de la thématique de la mesure portable.
- Un travail sur la formation des installateurs de petites éoliennes harmonisé avec la région Rhône-Alpes.

---

<sup>63</sup> <https://sites.google.com/site/afppeweb/home>



## 7.5.5- Autres clusters industriels éoliens français

D'autres clusters industriels éoliens se sont structurés ou sont en phase de structuration :

### **Aquitaine Wind Industry Cluster**

En décembre 2010 a été annoncée la création du cluster aquitain "Aquitaine Wind Industry Cluster" qui compte une trentaine de membres et s'appuie sur plusieurs acteurs industriels de l'éolien de premier plan dont notamment EADS qui a développé des compétences en matière de pales d'éoliennes et s'est associé avec le spécialiste des composites Plastinov pour produire des pales sur le site de Blanquefort et y créer un centre de formation à la maintenance. Le cluster bénéficie aussi de la présence de Valorem développeur de sites éoliens qui a récemment acquis des brevets canadiens pour construire des éoliennes de 2 MW ainsi que des pales. Ce cluster a pour ambition de répondre localement à des besoins de niveau national voir international.

La région Aquitaine, sous l'impulsion de son Président, a souhaité piloter la structuration de ce cluster qui pourrait générer 600 emplois d'ici 5 ans. Ainsi, la structure d'animation et de concertation Aquitaine Wind Industry, qui est présidée par le PDG de Valorem, est abritée au sein du Conseil régional d'Aquitaine.

### **Net wind en Pays de la Loire**

Net-Wind est un cluster né en 2009 regroupant 6 acteurs souhaitant proposer une offre spécifiquement axée sur la maintenance des éoliennes terrestres (entretien réparation et fabrication de composants de seconde monte). Partant du constat qu'il n'existait pas d'offre structurée dans ce domaine, les acteurs ont souhaité se regrouper pour proposer une offre globale.

L'acte de naissance a été marqué en 2009 par la création au Mans d'un centre de formation aux techniques de maintenance d'éoliennes qui formera une vingtaine de personnes par an.

Les trois clusters suivants en cours de structuration se positionnent presque exclusivement sur le marché de l'off-shore<sup>64</sup>.

Chacun souhaite pouvoir accueillir des activités liées à la fabrication d'éléments (pales, rotor, mâts, fondations ou sous-stations en mer), à l'installation et au raccordement (assemblage à quai, installation en mer et raccordement câblage), ainsi que sur les activités de maintenance (bateaux de servitude spécialisés, réparation et formation).

### **Neopolia : Nantes-St Nazaire**

Neopolia est un réseau d'industriels implanté à Saint Nazaire.

Le réseau s'organise autour de 4 thématiques : pétrole et gaz, industrie ferroviaire, industrie aéronautique, solutions marines. C'est au sein de cette dernière qu'a été lancée le 14 avril 2011 une filière énergies marines renouvelables avec pour ambition de bénéficier directement des retombées des développements de parcs éoliens off-shore en France. Plus de 200 entreprises locales ont manifesté un intérêt pour intégrer cette nouvelle filière copilotée par Néopolia et STX, le chantier naval de Saint Nazaire qui y voit un puissant relais de croissance. Le positionnement de Neopolia est assez resserré autour de la construction de fondations, de l'assemblage à quai, des bateaux de servitude et des sous-stations.

A ce titre, la Région Pays de la Loire a annoncé le 12 mai 2011 son soutien au cluster avec une enveloppe de 2,2 millions d'euros pour trois projets d'aide à l'innovation : Fondéol (fondations pour éoliennes off-shore), Poséole (bateau pose-éoliennes) et Wattéole (sous-station électrique pour les champs éoliens off-shore).

---

<sup>64</sup> Les informations citées ci-dessous sont issues des sites internet des clusters (voir en annexe) ainsi que de l'étude : « Eolien off-shore : vers la création d'une filière industrielle française ? », Price water House Cooper, décembre 2010.

### **Bretagne pôle naval**

A l'origine un pôle formé autour de la thématique de la mer et de la construction navale qui a choisi de s'investir dans les énergies marines et les éoliennes off-shore. Environ 80 entreprises composent ce pôle dont des chantiers navals. Son ambition a été affirmée lors d'un colloque qui s'est tenu le 5 avril 2011. Le pôle compte principalement sur le site de Brest et ses installations, sur la présence de France Energies Marines, la plate-forme technologique nationale sur les énergies marines renouvelables qui devrait être sélectionnée au titre des IEED, sur l'implication de la DCNS dans le projet d'éolienne flottante **Winflo** avec Saipem et Nass & Wind, qui dispose à Brest de nombreuses compétences de recherche ainsi que d'un incubateur, à côté de celles de l'IFREMER liées à la connaissance de la mer. Lorient et Saint Malo seraient des sites associés.

Le pôle naval Bretagne se positionne à la fois sur les activités de fabrication (mâts, fondations et sous-stations), d'installation et raccordement (assemblage à quai principalement) et de maintenance (bateaux de servitude et réparation).

### **Le Havre estuaire de la Seine, pôle industriel éolien en mer (Le Havre développement)**

Le comité d'expansion économique de la région Havraise affiche sur son site la volonté de se positionner comme un des sites candidats en France à l'accueil d'activités industrielles liées au développement de l'éolien off-shore. Cette volonté s'appuie sur le potentiel du port du Havre, ainsi que ceux de la côte normande : Cherbourg, Fécamp, Dieppe, le Tréport.

Ce cluster de nature industriel est en phase de maturation, il se positionnerait sur les activités de production à haute valeur ajoutée (nacelles et pales), ainsi que sur celles de mâts et de fondations. Le site du Havre compte sur la présence d'Aircelle filiale du Groupe safran, équipementier aéronautique spécialisé dans les nacelles de moteurs d'avions avec des compétences dans les matériaux composites. Il souhaite aussi développer des activités d'installation (assemblage à quai et installation en mer qu'il est le seul site français à envisager), ainsi que des activités de maintenance (bateaux de servitudes et réparation). La particularité du projet du Havre est de développer un site de test d'éoliennes et de formation des techniciens sur une zone portuaire dédiée de 50 hectares, Eco Wind Park, pour 3 turbines à proximité des zones de production et d'assemblage à quai.

### **Dunkerque promotion**

Fort d'une collaboration avec le constructeur Vestas à qui il a fourni un espace dédié au pré-assemblage de 100 éoliennes off-shore destinées à être installées dans le plus grand parc éolien du monde, Thanet, situé en Grande-Bretagne, l'agence de développement de Dunkerque a proposé la candidature du port de Dunkerque comme leader d'une future filière éolienne française.

Dunkerque compte sur les nombreux industriels spécialisés dans les activités liées à l'énergie, la métallurgie, la mécanique et la logistique spéciale, il compte aussi sur une offre foncière de 3 000 ha disponible dans la région de Dunkerque associée aux infrastructures portuaires et à la création de deux offres nouvelles de « bord à quai » pour attirer les investisseurs. Le détail du projet sera révélé mi-juin 2011 au cours des Assises de la mer de Dunkerque.

### Conclusion générale du Benchmark France : les conditions d'émergence des clusters

A travers l'étude des différentes expériences françaises, il apparaît des constantes qui dessinent les contours de ce qui fonde les conditions d'émergence et de réussite d'un cluster au-delà bien entendu du préalable que constitue l'existence d'un tissu d'acteurs :

- Une **volonté politique** avec un soutien de l'ensemble des acteurs locaux.
  - Une **stratégie** claire et affichée
  - Des **moyens** : d'abord **humains** mais aussi **financiers**, voire fonciers et immobiliers.
  - Une étroite **collaboration avec le monde industriel** qui intervient en co-conception du projet.
- A ce titre, le choix ou le soutien apporté à un **chef de file industriel** sur lequel s'appuyer et qui joue le rôle de fédérateur pour les autres industriels impliqués dans la filière est essentiel.
- Dès que possible, la mise sur pied d'une **structure d'animation dédiée** pérenne dotée de moyens et d'une identité propres (personnel, site internet) est une des clés de réussite. Cette structure doit être perçue par les acteurs comme le portail naturel. Elle dispose de prérogatives qui incluent systématiquement un rôle de recensement, de représentation, d'animation autour de thématiques qui peuvent être variables mais qui comprennent par exemple l'accès aux marchés, la formation et pour les pôles les plus avancés la coopération en recherche et développement soit entre membres industriels soit avec le monde de la recherche publique. La mise sur pied d'actions concrètes directement utiles aux entreprises est un moyen de permettre aux acteurs industriels de s'approprier ce nouvel outil.

## 7.5.6- Les actions franciliennes en faveur de l'éolien

L'implication de l'Île-de-France en faveur de l'éolien a été initiée par le plan régional de maîtrise de l'énergie et de développement des énergies locales renouvelables dans sa version de 2001.

Dans ce cadre la Région Île-de-France a mandaté l'ARENE pour faire réaliser une cartographie précise du potentiel éolien francilien. Cette cartographie a reçu l'appui de l'ADEME et a notamment impliqué l'IAURIF.

A l'appui de ce document, se sont ensuite développées des Zones de Développement de l'Eolien (ZDE)<sup>65</sup> à l'initiative des communes, après validation par les services de l'Etat.

**A ce jour 12 dossiers de ZDE ont été déposés depuis 2006 (2 en Essonne et 10 en Seine et Marne dont :**

- 3 ZDE autorisées (77 : Gironville-Mondreville, Bellot (en recours) et Chalautre la Grande
- 1 ZDE en cours de traitement (77 : Arville)
- 4 ZDE en cours d'élaboration (77 : Péczy-Vaudoy, Saint Mars Vieux Maisons, Blandy ; 91 : Limours).
- 8 ZDE refusées

**Le potentiel des ZDE autorisées (y compris avec recours) est de 117MW.**

**Concernant les Permis de construire (PC) :**

10 dossiers déposés depuis 2006 : 4 en Essonne et 6 en Seine-et-Marne dont :

- 2 dossiers autorisés : Essonne (3 éoliennes à Pussay en cours de construction) et Seine-et-Marne (8 éoliennes à Mondreville faisant l'objet d'un recours de tiers. **En potentiel, les permis autorisés (y compris avec recours) représentent 22.9MW.**
- 2 dossiers en cours de traitement : En Seine-et-Marne (5 éoliennes à Chalautre-la-Grande et 7 éoliennes à Blandy)
- 6 dossiers refusés

Pour le moment une seule éolienne de 60 KW a été installée en Île-de-France en 2003, mais selon une récente estimation du Syndicat des Energies Renouvelables (SER), la région possède un réel potentiel qui permettrait d'augmenter la production régionale d'électricité de 14 à 30% en couvrant la consommation de près de 400 000 à 800 000 franciliens.

**La définition du Schéma Régional Eolien (SRE)**

La loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (loi dite du Grenelle 2) prévoit l'instauration des Schémas Régionaux du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE). Le Préfet de Région et le Président du Conseil régional élaborent conjointement le projet de schéma, après consultation des collectivités territoriales concernées et de leurs groupements.

Ce schéma contient un volet annexé intitulé « Schéma Régional Eolien » qui :

- identifie les parties du territoire régional favorables au développement de l'éolien dans lesquelles pourront être autorisées par les préfets des ZDE.
- établit la liste des communes dans lesquelles sont situées ces zones favorables et peut comporter des documents cartographiques à valeur indicative

Les travaux visant à l'élaboration du SRE ont débuté à l'automne 2010. Les propositions de zones propices devraient se concrétiser au courant de l'automne 2011.

Trois échelles territoriales encadrent désormais le développement de l'éolien :

**1. Echelle Régionale :** Le Schéma Régional Eolien définit des zones propices en y associant des objectifs quantitatifs de puissance électrique installée en MW (Maîtrise d'ouvrage : Préfecture de Région et Conseil régional).

---

<sup>65</sup> Une ZDE est une zone de territoire, proposée par une ou plusieurs communes, pour accueillir des éoliennes. La validation d'une ZDE revient à la Préfecture du département.

**2. Echelle communale ou intercommunale :** Les Zones de Développement Eolien (ZDE) définissent des zones plus précises au sein des zones propices en y associant aussi des objectifs de puissance installée en MW (Maîtrise d'ouvrage : les zones sont proposées par les communes ou Communautés de communes – validation préfectorale).

**3. Echelle locale :** Les dossiers de permis de construire des projets éoliens accompagnés des études d'impacts ou des futurs dossiers ICPE définissant précisément l'intégration des éoliennes dans leur environnement (Maîtrise d'ouvrage : l'opérateur éolien, entreprise privée, qui dépose les demandes de permis de construire – soumis à autorisation préfectorale et enquête publique).

Enfin, la création prochaine d'une société d'économie mixte (SEM) pour favoriser le développement des énergies renouvelables et améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments aura notamment pour mission de favoriser le développement de parcs éoliens en Île-de-France. Cette SEM recevra l'appui financier de la Région et des départements partenaires.

8- Développer une filière industrielle éolienne en Île-de-France : Atouts, opportunités, recommandations

## 8.1- Au niveau français, des opportunités malgré un retard certain

Plusieurs rapports et études parues ces deux dernières années<sup>66</sup> soulignent à la fois le retard de l'industrie française dans l'éolien mais aussi les opportunités importantes qu'elle peut encore saisir.

La synthèse de ces rapports est présentée ici sous forme d'une matrice AFOM.

Atouts	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un potentiel de croissance du marché important avec le second gisement d'Europe</li> <li>- Des grands groupes dans les segments stratégiques de la filière ce qui constitue une base à la création d'une filière</li> <li>- Un tissu national de 150 sous-traitants industriels actifs dans l'éolien avec des compétences fortes dans certains domaines : BTP, métallurgie, mécatronique, aérodynamique, électronique de puissance</li> <li>- Une politique de tarif de rachat d'électricité qui soutient le développement de l'éolien terrestre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucun constructeur français dans le top10 mondial : la France est très en retard dans l'éolien terrestre avec un marché national aux mains des constructeurs étrangers et distancée dans l'éolien off-shore posé avec peu d'expérience.</li> <li>- Une filière industrielle encore trop peu organisée</li> <li>- Une recherche éolienne nationale non visible, ne disposant pas de ligne de financement spécifique et qui n'est dotée d'aucune structure de recherche fédératrice dédiée</li> <li>- Des procédures administratives contraignantes pour les sites d'essai et de production</li> <li>- Des contraintes administratives rédhibitoires pour le petit éolien (ZDE) qui ne dispose de ce fait d'aucun tarif de rachat</li> <li>- Un soutien financier du secteur public qui reste essentiel.</li> <li>- Des tarifs de rachat actuellement insuffisants pour rentabiliser les projets off-shore</li> </ul>
Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le marché de l'off-shore est en mutation et l'off-shore de seconde génération (flottant) sera l'occasion de rebattre les cartes avec des parts de marché actuelles encore fragiles.</li> <li>- Un marché de l'off-shore en très forte croissance qui représentera 40% du marché éolien européen en 2020 et 25 000MW fin 2030</li> <li>- Les acteurs français sont bien positionnés sur l'off-shore flottant ou les très grandes éoliennes (5MW et plus)</li> <li>- Un début de structuration de la filière éolienne française avec l'émergence de clusters locaux</li> <li>- Les acteurs du petit éolien entament leur structuration dans un marché en croissance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensité concurrentielle mondiale croissante avec tendance à la concentration et renforcement des barrières à l'entrée notamment sur l'off-shore dont les coûts d'investissements sont bien plus élevés que sur le terrestre</li> <li>- Au niveau national, un risque de concurrence entre clusters locaux au détriment de l'ensemble de la filière</li> <li>- Incertitude sur les choix technologiques et leur réussite commerciale</li> </ul>

Le schéma ci-dessous illustre le positionnement de la France vis-à-vis des différents segments de l'éolien. Il est issu du rapport « les filières industrielles stratégiques de l'économie verte » et a fait l'objet d'une réévaluation à partir de dires d'experts au vu des évolutions observées. Ce graphique confirme malheureusement le constat général d'un retard français. En effet depuis la parution de l'étude, la filière industrielle a peu avancé dans sa structuration, hormis la clôture de l'appel à

<sup>66</sup> « Le pari de l'éolien », rapport du Centre d'analyse stratégique, 2009 ; Rapport « Windustry France » réalisé par Cap Gemini et remis au SER le 31 mars 2010, Rapport « les filières industrielles stratégiques de l'économie verte », Commissariat général au développement durable, mars 2010

démonstrateur pour éoliennes flottantes avec deux projets, tandis que le marché off-shore français ne décollait toujours pas et alors que le marché britannique prenait son envol.

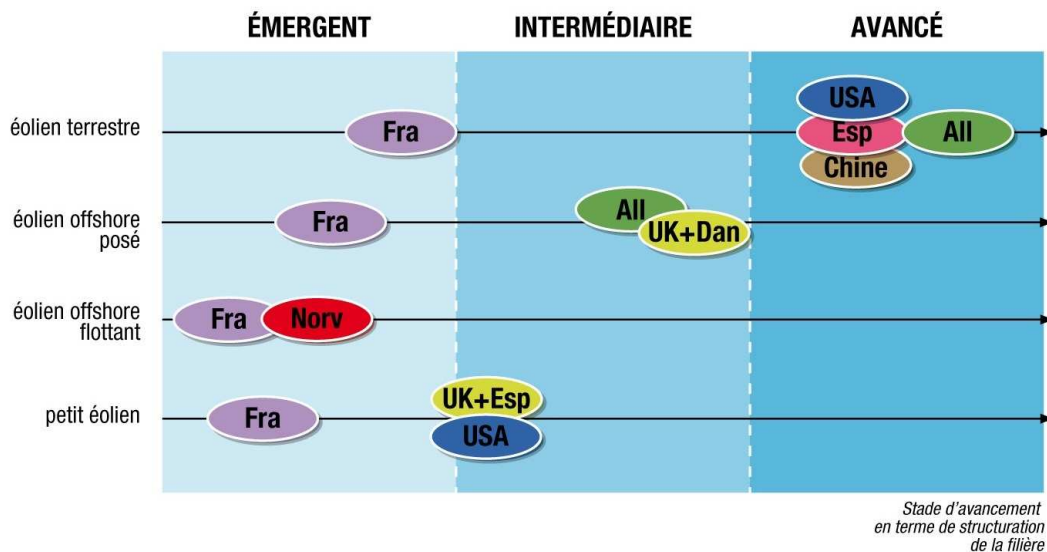
Il apparaît que la France peut encore espérer se poser comme leader ou du moins figurer parmi les leaders sur les segments de l'éolien off-shore flottant et dans une moindre mesure le petit éolien.

Concernant l'off-shore posé, si la France est largement distancée, ses deux champions nationaux actuels Alstom et Areva ont encore les moyens de figurer au premier plan, grâce à leurs avancées dans les très grandes puissances.

Dans le domaine de l'éolien flottant, la France est devancée de justesse par la Norvège qui teste en ce moment son premier démonstrateur, inauguré en 2009 et mis au point par un consortium dans lequel figuraient le français Technip pour la conception des flotteurs, ainsi que Nexans pour le câblage, ce qui permet à la France de bénéficier d'un retour d'expérience dans leur participation à l'appel à démonstrateur français d'éoliennes flottantes. Le marché de l'éolien flottant est actuellement inexistant mais pourrait un jour dépasser celui de l'éolien posé car les zones potentiellement concernées sont incomparablement plus vastes que les zones d'accueil de l'éolien off-shore posé dont les fonds ne peuvent excéder 50m.

Concernant le petit éolien, le marché est encore en phase de décollage dans de nombreux pays et la France qui dispose de plusieurs constructeurs peut encore espérer participer à l'équipement européen en petites éoliennes. La branche du petit éolien posé sur toiture voire intégré au bâti est quant à elle encore très embryonnaire, avec une technologie peu mature dont on ne peut dire quels choix seront validés. Ce marché apparaît comme étant encore très ouvert mais comporte aussi d'importants risques.

#### Etat d'avancement de la France vis-à-vis des leaders mondiaux sur les marchés de l'éolien fin 2010

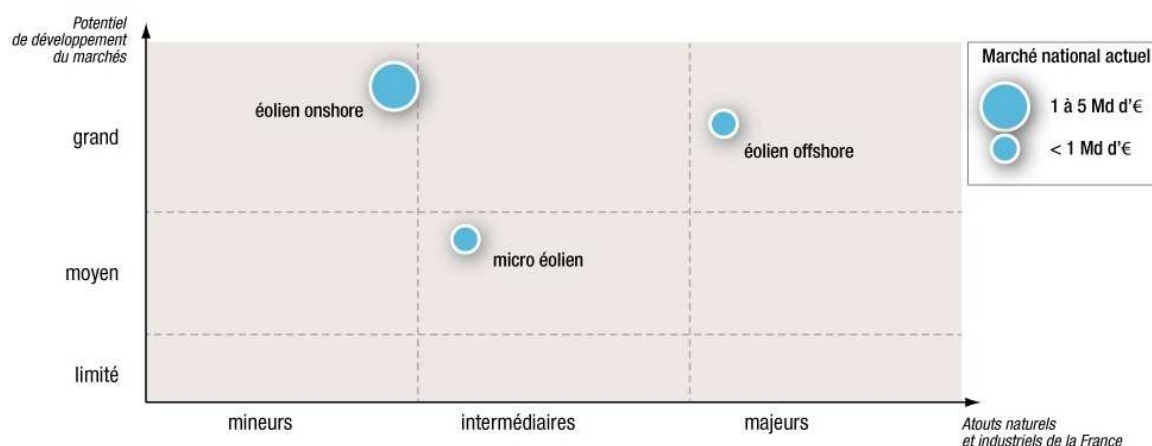


Source : d'après l'étude "Filières vertes" MEEDDM / CGDD - oct. 2009 et compléments d'informations recueillis par l'IAU îdF © IAU îdF

Le dernier graphique, lui aussi inspiré par celui du même rapport, reprend en partie les constats précédents en y ajoutant une dimension comparative sur les perspectives de développement du marché international.

On constate ainsi que le potentiel de développement du marché éolien on-shore est légèrement supérieur au marché off-shore. Par contre la France dispose d'atouts majeurs dans ce dernier, ce qui n'est pas le cas du premier. Le petit éolien qui actuellement est au même niveau que l'éolien off-shore en termes de développement en France est aussi appelé à se développer de manière conséquente, dans des proportions bien moindres cependant que les marchés du grand éolien.

## Potentiel de développement des marchés internationaux et atouts de la France



Source : d'après le rapport "Filières industrielles stratégiques de l'économie verte" MEEDDM / CGDD - mars 2010  
© IAU îdF

### **Conclusion :**

Malgré son retard déjà important dans certains segments de l'éolien, la France dispose d'atouts pour espérer devenir un leader de l'industrie éolienne en France voire européenne.

Le rapport « filières industrielles stratégiques de l'économie verte » conclut sa fiche concernant l'éolien sur l'idée que la mise en place d'une filière éolienne off-shore française passe aussi par une présence dans l'éolien terrestre même si la France est très distancée par les autres pays.

Il poursuit sur le constat que l'on peut compter sur les 140 fournisseurs déjà actifs et, comme le souligne le rapport Windustry, sur d'autres industriels potentiellement mobilisables, issus de secteurs d'activités phares en France (automobile, aéronautique, chantiers navals...).

Il conclut enfin sur la nécessité de mener une recherche coordonnée dans le domaine de l'éolien qui devrait prendre la forme d'un institut de recherche dédié à la filière éolienne.

## 8.2 Atouts et faiblesses de l'éolien en IDF

A côté des constats nationaux qui sont aussi valables pour l'Île-de-France, il faut tenir compte des spécificités régionales pour appréhender ce que sont nos atouts mais aussi nos faiblesses en vue de participer à une filière industrielle éolienne nationale.

### Les atouts :

- L'Île-de-France dispose d'un tissu industriel et de recherche très étoffé dans des secteurs ayant de fortes proximités technologiques avec l'éolien avec aussi plusieurs points forts dans le domaine de l'éolien au sens strict.

L'Île-de-France apparaît ainsi bien positionnée sur la majorité des 4 familles d'acteurs industriels repérés par Windustry comme étant une force pour la France disposant de fortes compétences sur les aspects suivants :

- Métallurgie, mécanique, mécatronique ;
- Aérodynamique ;
- Matériaux innovants : fibres composites, résines ;
- Electronique de puissance : interne et externe (raccordement au réseau) ;
- Génie civil, terrassement, fondations.

### **Convergences technologiques entre l'éolien et certains secteurs stratégiques franciliens**

Principales compétences technologiques	Automobile	Aéronautique	Electronique	Mécanique	BTP
Mécanique	xxx	xxx		xxxx	x
Mécatronique	xx	xx	xxx	xxxx	
Aérodynamique	xx	xxx			x
Matériaux composites	xx	xxx		xx	
Electronique de puissance	x (1)	xx	xxx	xx	
Mâts béton					xxx
Génie civil, terrassement, fondations					xxx

Source : traitement IAU-idf, (1) thématique en croissance avec l'émergence des véhicules hybrides et électriques

- Du côté de la demande, le premier marché français en termes de consommation électrique.
- Une ressource éolienne qui se situe dans la moyenne nationale, au moins au même niveau que celle des régions Centre, Champagne-Ardenne ou Lorraine, qui abritent un parc éolien important.

### Les faiblesses :

- Il n'y a pas actuellement d'industriel identifié se posant comme leader pour structurer une filière régionale dans l'éolien.
- Un petit nombre de sites de production manufacturière effectivement actifs dans l'éolien qui relèvent plutôt de PME ou portent sur des éléments non exclusivement spécifiques à l'éolien.
- Il y a actuellement peu de visibilité sur les acteurs franciliens actifs dans l'éolien, cependant la présente étude ainsi que la constitution en cours d'un annuaire francilien par la FEE devraient remédier à cette lacune.
- Comme au niveau national, il n'existe aucune coordination de la recherche sur les thématiques concernant l'éolien ni sur les sites d'essai ou de test.
- Les PME de l'éolien manquent d'information sur les opportunités de marché ainsi que sur l'offre de R&D régionale pouvant les intéresser.
- Un marché éolien régional encore anecdotique<sup>67</sup>, avec de fortes contraintes liées à l'urbanisme et de fortes oppositions locales à l'implantation d'éoliennes comme on les rencontre dans d'autres régions.

<sup>67</sup> Rappel : l'Île-de-France est parmi les dernières régions françaises en termes de production d'électricité d'origine éolienne avec seulement une seule machine installée et 0,1MW produit en 2010 (source SER-FEE).



## 8.3-Opportunités et propositions d'actions

Au vu des éléments indiqués précédemment, il est probable que les principaux développements industriels concernant la filière éolienne française se feront ailleurs qu'en Île-de-France, notamment concernant un site d'assemblage majeur. Cependant l'Île-de-France a un rôle à jouer au niveau de la fourniture de sous-ensembles et de pièces avec quelques acteurs de niveau international dont l'activité au sein de la région se trouverait ainsi confortée voire développée. Plus précisément sur cette thématique, les plus gros investissements industriels concerneront les régions côtières françaises. A ce titre, si des d'activité d'assemblage venaient à se développer dans la région du Havre, le potentiel de participation des industriels franciliens à la fourniture d'équipements s'en trouverait accru, notamment en profitant de l'axe de la Seine pour des éléments volumineux. Enfin, le petit éolien est une filière en devenir pour laquelle il reste encore beaucoup d'obstacles technologiques à lever et notre région en tant que marché potentiel important pourrait se saisir de cette thématique. Elle participe déjà activement à la recherche concernant l'éolien, avec de fortes compétences dans l'off-shore, et cette implication pourrait être renforcée.

Une action régionale en faveur de l'industrie éolienne ferait d'autant plus sens qu'elle bénéficie d'une conjoncture favorable, avec la mobilisation en cours au niveau national pour structurer une filière éolienne, ainsi que les perspectives de développement de l'éolien off-shore, ce que confirme aussi la multiplication depuis deux ans des clusters français dédiés à l'éolien. Ces éléments constituent une fenêtre pour mobiliser les acteurs franciliens.

Cette mobilisation pourrait se fixer plusieurs objectifs non exclusifs les uns des autres :

- 1- rendre la filière éolienne régionale visible au niveau national
- 2- accompagner la structuration d'un cluster francilien de fournisseurs du grand éolien
- 3- organiser la recherche portant sur l'éolien autour d'une ou plusieurs thématiques clés et proposer un ou plusieurs sites de test et d'expérimentation qui font défaut à la filière au niveau national
- 4- favoriser un marché de l'éolien en Île-de-France
- 5- porter la thématique du petit éolien en particulier urbain

Les paragraphes suivants détaillent chacun des objectifs que pourraient se fixer les acteurs locaux franciliens pour soutenir la filière. Chaque paragraphe propose un constat préalable, explicite les enjeux et les opportunités qui se présentent pour terminer sur une description des actions qu'il est possible de mener pour atteindre l'objectif initial. Des porteurs potentiels pour ces actions sont proposés au lecteur afin de leur donner un caractère plus opérationnel.

### Objectif 1 : Donner une visibilité à la filière éolienne francilienne

**Constat :** Plusieurs régions françaises abritent des pôles de compétitivité dédiés aux énergies renouvelables qui affichent l'éolien parmi leurs thématiques ; par ailleurs pas moins de 8 clusters ont émergé ou sont en phase de maturation sur la thématique de l'éolien.

Dans ce contexte, l'Île-de-France qui dispose d'un tissu d'acteurs de premier plan avec 110 établissements impliqués dont plus de 70 relèvent de l'industrie n'est pas perçue comme étant un pôle éolien. Cet objectif est le plus simple et rapide à atteindre et sa réalisation est déjà en partie entamée.

**Enjeu :** Rendre les acteurs franciliens visibles, à la fois au niveau régional pour susciter des synergies et renforcer les liens mais aussi au niveau national et international pour donner un signal de soutien aux acteurs franciliens et renforcer l'attractivité de la région dans ce secteur d'activité.

**Opportunités :** profiter de l'engouement pour l'industrie éolienne pour afficher les prétentions régionales et éviter de se faire marginaliser vis à vis d'autres régions. Une branche francilienne de la FEE du SER est en cours de constitution, ce qui permettrait d'accroître la visibilité de la région dans l'éolien.

### **Description des actions et porteurs potentiels :**

Plusieurs niveaux d'actions sont possibles.

-Le premier est à l'évidence d'effectuer un recensement des acteurs puis de procéder régulièrement à sa mise à jour :

Sur ce point, deux actions en cours devraient y répondre, la première est la présente étude qui a cherché à dresser une vision la plus complète possible de la filière francilienne et peut constituer un point de départ pour un recensement exhaustif et régulier. La seconde action émane de la branche éolienne du SER, la FEE qui souhaite structurer une branche régionale en Île-de-France et à ce titre produire un annuaire.

-Créer un label qui rassemblerait les acteurs régionaux et faciliterait la communication sur le potentiel régional :

Cela pourrait prendre notamment la forme d'une présence commune sur des salons professionnels, éventuellement assorti d'un site internet dédié, au minimum bilingue.

Sur ce point l'Agence régionale de développement semble être l'organisme le plus légitime sur le volet communication et promotion.

## **Objectif 2 : Structurer une branche régionale d'une filière nationale dans le grand éolien (terrestre et off-shore)**

**Constat :** Le marché de l'éolien est en forte progression tant au niveau national qu'international. Le marché français est un des plus dynamiques d'Europe et attire des investisseurs. Alors que la filière éolienne française est relativement faible et fragmentée avec peu de donneurs d'ordres et de petite taille au niveau mondial, l'Etat français souhaite voir se mettre en place une filière industrielle éolienne complète et structurée. Cette structuration passera par les fournisseurs existants dont certains sont d'envergure internationale. Elle s'appuiera surtout sur l'éolien off-shore, seul segment pour lequel la France conserve une chance réelle de créer une filière complète avec des acteurs de premier plan pouvant devenir des donneurs d'ordre.

**Enjeu :** La France et l'Île-de-France abritent des acteurs de premier plan ayant de fortes compétences qui intéressent l'éolien et qui pourraient devenir ou renforcer leur position en tant que fournisseurs<sup>68</sup>. Les entreprises franciliennes participant ou pouvant participer à la filière sont déjà actives dans d'autres secteurs industriels considérés comme stratégiques (aéronautique, automobile, mécanique). Favoriser la structuration d'une branche industrielle éolienne **c'est aider ces entreprises à consolider leur activité en se diversifiant et en développant leurs compétences technologiques**. Cependant celles qui désireront se positionner comme fournisseurs devront aussi franchir le test de la certification, ce qui pour beaucoup de PME, peut se révéler difficilement surmontable.

### **Opportunités :**

#### Au niveau national :

-Les constructeurs français (Alstom et Areva) et étrangers sont de plus en plus impliqués sur le marché français et songent à y créer des sites d'assemblage, notamment dans le cadre des appels d'offres off-shore, en se constituant en parallèle un volant de fournisseurs national. Les acteurs français sont déjà entrés dans cette phase de recherche active.

-Par ailleurs, la création des consortiums français pour répondre à l'appel à projet de démonstrateur d'éoliennes flottantes conduira à une échéance plus lointaine à la constitution d'un réseau de fournisseurs. Les deux consortiums sont particulièrement bien représentés en Île-de-France. Les acteurs les plus visibles et les mieux organisés seront les plus à même de participer aux chaînes de valeur qui se mettent en place en France.

-Le positionnement géographique de l'Île-de-France lui permet à la fois de viser les marchés terrestre et off-shore, notamment en misant sur les axes fluviaux pour le transport de pièces les plus lourdes ou

---

<sup>68</sup> Les fournisseurs français participent à hauteur de 5% seulement au marché d'équipement hexagonal entre 2007 et 2008 selon le « rapport d'information sur l'énergie éolienne » de M. Franck Reynier député, rapport présenté à l'Assemblée nationale le 31 mars 2010.

encombrantes (Seine pour l'axe est-ouest vers la mer et canal Seine nord pour les débouchés vers le nord de la France).

#### Au niveau régional :

-Un tissu d'acteurs potentiellement implicables dans la filière dont certains se disent prêts à l'intégrer (cf Windustry)

-Le projet de technocentre aérospatial francilien baptisé « projet aigle » qui sera localisé sur la plateforme du Bourget s'articulera autour du nouveau site industriel d'Eurocopter (site de construction de pales), d'une partie des équipes d'EADS Innovation Works, le centre de R&D du groupe européen EADS, venues de Suresnes et d'un centre de formation. La thématique de ce projet portera sur la voilure tournante, qui est totalement compatible avec l'éolien.

-Une branche francilienne de la FEE du SER est en cours de constitution, ce qui peut être un signe d'une volonté des acteurs régionaux de s'organiser.

#### **Menaces :**

- L'IDF risque d'être marginalisée par la formation de clusters d'autres régions plus visibles, organisés et dynamiques sur l'ensemble des marchés éolien y compris le terrestre qui reste pour le moment le principal marché.

- Les développements industriels de l'éolien off-shore se feront principalement en bord de mer, ce qui risque aussi d'exclure la région de sites majeurs de production.

#### **Les actions possibles :**

-Accompagner la création d'un cluster régional de fournisseurs industriels et de prestations de maintenance :

A l'image des démarches régionales décrites dans la partie benchmark, accompagner la création d'un cluster régional de fournisseurs industriels et de prestations de maintenance qui miserait par exemple sur la complémentarité avec des clusters éolien existants ainsi qu'avec des clusters off-shore en devenir.

Il s'agirait au niveau régional de prendre le relais de la démarche Windustry initiée par la branche éolienne du SER en 2009. Cela consisterait en une phase d'identification des acteurs effectivement impliqués (annuaire du SER, travail IAU) qui serait complétée par une action d'identification et de recherche active d'acteurs potentiellement intéressés par la filière, travail déjà amorcé par le CETIM pour la mécanique. La parution d'un annuaire francilien actualisé des acteurs de l'éolien ainsi qu'une phase d'information sur les opportunités de marché auprès des candidats s'en suivrait. Cette action pourrait être portée par la branche francilienne du FEE SER qui s'est récemment créée.

Ce cluster ne pourra effectivement être visible et exister que s'il bénéficie d'une structure dédiée.

Cette structure pourrait prendre diverses formes notamment celle d'une association à l'image des expériences décrites. Elle pourrait aussi être intégrée ou abritée par une structure existante.

Ses activités seraient conformes à ce que l'on attendrait d'une telle structure notamment celles analysées dans le benchmark. Idéalement une telle structure offrirait les fonctionnalités suivantes :

Elle s'appuierait principalement sur un site internet et proposerait des actions de communication, d'animation de filière (rencontres d'affaires, journées thématiques technologiques...), un accompagnement personnalisé des acteurs souhaitant plus particulièrement s'impliquer vers la certification auprès d'un constructeur, vers des projets collaboratifs de R&D en favorisant des domaines scientifiques considérés comme stratégiques, aiderait les adhérents à utiliser les ressources en simulations et essais existantes en Île-de-France...

-Travailler en concertation avec une ou plusieurs autres régions :

On pourrait imaginer œuvrer à cette structuration de filière en concertation avec la Région Centre qui dispose d'un constructeur spécialisé dans la moyenne puissance et qui cherche elle aussi à structurer une filière éolienne autour de cet acteur. Cela permettrait aussi de s'appuyer sur la visibilité des pôles de compétitivité du Centre dans les écotecnologies. Une autre option serait de s'associer aux démarches des régions Bourgogne et Aquitaine qui travaillent déjà ensemble à la mise en place d'une offre commune et complémentaire de fournisseurs éoliens. L'Île-de-France aurait aussi intérêt à se rapprocher d'un ou de plusieurs clusters éoliens off-shore en cours de structuration pour participer aux chaînes de fournisseurs qui se mettent en place. Ces coopérations

seraient ainsi l'occasion de constituer un grand pôle éolien interrégional, avec notamment pour avantage d'offrir un marché éolien conséquent.

-Un préalable important, former à ces nouveaux métiers :

Un volet important de cette action repose sur la nécessité de développer des formations répondant spécifiquement aux besoins de l'industrie éolienne. Dans le cadre du développement d'un marché local, la création de formations à la maintenance des éoliennes serait notamment souhaitable.

A ce titre, Il existe un embryon de formations existantes ou en cours d'élaboration. Parmi celles-ci on peut citer :

Deux formations généralistes en énergie renouvelable de niveau licence pro qui fournissent quelques diplômés de niveau BTS à la filière éolienne :

- Licence Pro MEE (Maitrise de l'Energie et Environnement) de l'IUT de Ville d'Avray, Paris 10,
- Licence Pro TPE (Techniques physiques des énergies ) Paris 7-11 Diderot-Orsay

Des formations de niveau Master2 destinées à fournir des ingénieurs et des futurs chercheurs :

- Nouveau Master M2 EMA Energie et Matériaux Avancés à Cergy Pontoise
- Un nouveau master 2 porté par les écoles ParisTech nommé « Sciences et Technologies des Energies Renouvelables » qui comportera un volet éolien. Prévu pour former des ingénieurs et chercheurs oeuvrant dans les ENR ce master 2 ouvrira ses portes à la rentrée 2011/2012.
- Enfin, un Master 2 axé sur les engrenages est envisagé par l'école d'ingénieurs Supméca à Saint-Ouen en partenariat avec le CETIM.

A ce stade il paraît nécessaire de faire connaître ces formations, de les coordonner ainsi que d'orienter et surtout pérenniser les liens avec les industriels.

#### **Les porteurs potentiels d'une action francilienne de structuration de la filière éolienne :**

Plusieurs structures franciliennes sont déjà actives au moins sur une partie de la thématique de l'industrie éolienne ou pourraient être légitimes sur ce sujet.

- La branche francilienne de la FEE du SER récemment créée pourrait à minima jouer ce rôle
- Le cluster Durapôle qui se positionne sur les écotecnologies et bénéficie de l'appui du Conseil régional au titre des Réseaux Régionaux d'Entreprises pour l'Emploi pourrait aussi se voir investir de cette mission.
- Le pôle Astech pourrait logiquement abriter une branche éolienne (sur la thématique voilures tournantes) et le futur Technocentre aéronautique francilien qui verra le jour sur le site du Bourget pourrait constituer un embryon de centre de recherche pour l'éolien. Il pourrait à cette occasion être renommé technopôle aéronautique et éolien francilien. Cette légitimité pourrait être renforcée dans le cas où un de ses principaux membres décidaient de s'impliquer dans la filière éolienne.
- De façon moins ambitieuse ou en complément d'une action générique, une action plus spécifiquement dédiée aux fournisseurs de l'éolien pourrait être incluse au plan filière mécanique de la Région Île-de-France. A ce titre, le CETIM est aussi en position de proposer une offre de soutien à la structuration d'une filière régionale par un appel d'offres en vue de **former un groupement d'entreprises de la mécanique** en Île-de-France souhaitant devenir fournisseurs d'un industriel éolien puis les aider à se structurer. Pour cela il sera nécessaire de mobiliser des moyens de la Région et de l'Etat.

Bien entendu, il ne s'agit ici que de propositions, d'autres acteurs plus génériques sont aussi légitimes pour porter une telle structure comme les Chambres consulaires par exemple. La solution la plus logique serait que l'ensemble de ces porteurs potentiels collaborent à une structure commune dédiée au développement de la filière éolienne francilienne.

Cette structuration de fournisseurs pourrait prendre une dimension supplémentaire en la mettant en cohérence avec une structuration de la recherche

### **Objectif 3 : Structurer la recherche autour de quelques thématiques clés**

**Constat :** le rapport Armines, plusieurs fois cité dans ce document faisait déjà mention du manque de structuration et de coordination de la recherche sur la thématique de l'éolien en France et de l'absence d'un centre de recherche national phare dans ce domaine ainsi que de structures d'essais. Il identifiait des points forts sur lesquels la recherche française pouvait légitimement s'investir. Ce constat reste totalement d'actualité aujourd'hui.

**Opportunités :** une fois de plus la volonté de l'Etat d'organiser une filière éolienne nationale implique de relancer la recherche sur cette thématique. Les possibilités offertes par les Investissements d'Avenir avec les appels à proposition de création d'IEED (Instituts d'excellence énergies décarbonées), les appels à manifestations pour démonstrateurs éoliens off-shore...sont autant de fenêtres propices. Enfin, la feuille de route du grand éolien, en cours d'élaboration, et qui devrait être rendue publique en septembre 2011, abordera notamment la question de la création et de l'implantation de sites d'essais et de tests de sous-ensembles sur le territoire national.

La recherche francilienne sur l'éolien bénéficie d'un environnement très favorable avec d'importantes ressources et outils de calcul et de simulation qui sont à la base des principales avancées de l'éolien, en particulier dans le domaine off-shore. A ce titre, suite à l'initiative Ancre citée plus haut (voir p...), il est proposé de porter les premiers efforts de recherche dans l'éolien off-shore sur la thématique du couplage de code (dynamique de l'ensemble de l'éolienne avec son support, or l'animation de cette réflexion a été confiée à l'IFP-EN très présent en Île-de-France sur cette thématique, l'ONERA pourrait aussi y être associée.

#### **Menaces :**

Au niveau Européen : rester un pays marginal au niveau de la recherche sur l'éolien.

Au niveau national : que la recherche ne joue pas pleinement son rôle dans l'appui au développement d'une filière éolienne française.

Au niveau régional : que l'Île-de-France malgré son important potentiel de recherche soit écartée du réseau de recherche national dans ce domaine et par contrecoup qu'une branche francilienne de la filière éolienne ne se développe pas. Que les compétences franciliennes inutilisées soient une perte pour l'ensemble de la filière nationale.

#### **Recommandations/acteur :**

-Se donner une dimension internationale :

Le rapport Armines indique concernant la recherche dans l'éolien : « *La principale recommandation concernant la recherche sur l'éolien porte sur la nécessité d'ancrer la recherche française dans une dimension européenne afin de contourner l'obstacle du caractère non prioritaire de l'éolien au niveau national.* ». Cette recommandation est tout à fait transposable aux équipes franciliennes qui pourraient s'inspirer de l'exemple d'Armines qui coordonne plusieurs projets européens sur la prévision de potentiel de site (Anemos, safeWind...), celles-ci pourraient être incitées à s'insérer davantage dans les études et réseaux de niveau européen.

-Organiser la recherche autour d'une ou plusieurs thématiques clés, qui seraient une partie d'un réseau national de recherche sur l'éolien :

Le rapport Armines avait souligné l'excellence française dans certains domaines de recherche et la nécessité d'y concentrer nos efforts.

Il proposait de focaliser les efforts de recherche français dans l'éolien sur les thématiques suivantes :

- la prévision de la production,
- l'évaluation des gisements,
- l'aérodynamisme,
- l'électrotechnique,
- la technologie off-shore.

Cette proposition reste toujours d'actualité et peut largement être transposée à l'Île-de-France qui abrite de fortes compétences dans l'ensemble de ces domaines.

-Participer à la constitution d'un centre virtuel d'excellence français dans l'éolien :

Ce même rapport souligne le manque d'une ou plusieurs structures de recherche dédiées spécifiquement à l'éolien à l'image de ce qui a été réalisé en Allemagne, au Danemark, ou encore en Espagne. Ces exemples nous montrent qu'il y a de la place pour plusieurs institutions travaillant en réseau sur des thématiques qui leur sont spécifiques, formant ainsi un centre virtuel d'excellence dans l'éolien. Une telle organisation est envisageable en France, avec une forte contribution francilienne sur les thématiques pour lesquelles elle est la plus avancée comme par exemple les matériaux, la conversion d'énergie, la mécanique des fluides (aérodynamisme, hydrodynamique, aéroélasticité, aéroacoustique...), la mécatronique, ou encore la conversion d'énergie et l'électrotechnique. L'idéal serait de renforcer des compétences déjà très sollicitées par d'autres filières stratégiques en Île-de-France (cf tableau p 94).

-Afficher l'existence d'un pôle spécifique sur la thématique off-shore :

On a vu précédemment que de nombreuses équipes de recherche franciliennes privée travaillaient activement sur l'éolien off-shore qui est une des thématiques majeures de demain dans l'éolien. Il semble nécessaire pour la région de souligner cette spécificité en montrant la complémentarité qu'il existe avec les équipes de recherche de la région de Brest pressentie pour l'IEED. L'idéal serait de fédérer ces compétences au sein d'un même ensemble d'acteurs publics et privés œuvrant dans le domaine des énergies de la mer, notamment l'éolien off-shore.

- Créer un ou plusieurs centres techniques destinés aux professionnels :

Le rapport Armines cite aussi l'importance de la création d'un ou plusieurs centres techniques destinés aux professionnels de la gestion des éoliennes (implantation, mise en service, maintenance, aspects juridiques...). Ce ou ces centres techniques apporteraient de puissants supports aux formations qui se mettent en place et vont se développer et viendraient renforcer l'attractivité du site francilien.

- Mettre en place un site d'essai de grandes éoliennes ?

Une fois encore, le Rapport Armines fait un constat qui reste d'actualité à savoir qu'il n'existe à ce jour toujours pas de site d'essai de grandes éoliennes en France.

Un tel site a existé dans le passé à Nogent-le-Roi dans l'Eure-et-Loire, à la limite de la région Île-de-France, pourrait-on imaginer créer un site d'essai qui implique les deux régions et qui pourrait aussi servir de support pour accueillir une plate-forme technologique réunissant l'ensemble des acteurs de l'éolien comme le préconise le rapport filières vertes ?

- Mettre en place un site d'essai de petites éoliennes urbaines (voir détail plus bas objectif 5)

Ces propositions devront se rapprocher et s'articuler avec les initiatives régionales en faveur de l'innovation telles que les DIM et en particulier le réseau de recherche sur le développement soutenable (R2DS), ainsi qu'avec les pôles de compétitivité, grappes et réseaux d'entreprises comme : le Comité mécanique, Mécatronique Seine Amont, le Réseau Mesure du Val-d'Oise (RMVO), Durapole, Maintenance industrielle robotique énergie matériaux (MIREM), voire aussi le Vivant et la ville, Advancity et Astech... Le Centre Francilien de l'Innovation pourra jouer pleinement son rôle d'accompagnement et d'orientation des PME dans leur projet d'innovation, et de mise en relation avec les partenaires financiers, les cellules de valorisation des laboratoires et les organismes de recherche.

## Objectif 4 : Renforcer le potentiel de développement du marché régional du grand éolien

### Constat :

L'existence d'un marché important et dynamique est l'un des facteurs du développement industriel. Si un industriel français actif dans l'éolien doit désormais à minima viser à servir un marché de dimension européenne, il n'en demeure pas moins que la décision fine de localisation des investissements industriels sera aussi guidée par l'existence d'un marché à proximité. A ce titre, si l'Île-de-France est entourée de régions offrant un marché dynamique, son propre marché est au contraire très petit. Par ailleurs, la question de l'acceptabilité sociale n'est pas le moindre des obstacles même si plus de 50% des français interrogés se disent prêts à accueillir un parc éolien à 1km de chez eux. Enfin, les conditions administratives à l'installation des éoliennes sont aussi identifiées comme constituant un frein au développement du marché

**Enjeu :** Le renforcement du potentiel de développement du marché francilien s'il n'est pas essentiel pour développer une filière industrielle locale constitue cependant un avantage supplémentaire dans la course à l'attraction des investissements industriels. Il existe aussi un enjeu au niveau de l'indépendance énergétique régionale et de production locale d'énergie renouvelable.

**Opportunités :** Les schémas régionaux Climat, Air, et Energie (SRCAE), sont en cours de réalisation dans chaque région. Le volet éolien de ces schémas aboutira à la définition de zones propices dans lesquelles les parcs éoliens seront préférentiellement construits.

**Menaces :** Soit parce que le marché francilien ne sera pas considéré comme assez attractif, ou parce que son développement aura été trop tardif par rapport à d'autres régions voisines, le risque est de voir se développer les éventuels projets industriels liés au marché francilien autour de la région ou de voir les acteurs franciliens développer des projets ailleurs en France.

### Les actions possibles :

Parmi les leviers possibles, au moins deux peuvent être actionnés ou favorisés par l'action régionale :

- Mettre en place les conditions administratives au développement de l'éolien
- Favoriser localement l'acceptabilité sociale des éoliennes

Concernant la première action, la mise en place d'un volet éolien dans le schéma régional des énergies renouvelables tel que défini par la loi du 3 août 2009 relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement constitue la base d'un développement futur et apporte une visibilité aux acteurs industriels. A ce titre l'élaboration en cours du Schéma régional du climat de l'air et de l'énergie (SRCAE) avec son volet éolien constitue un signal positif. L'inauguration du premier parc éolien francilien et l'annonce par le SER, relayée par la Région Île-de-France que l'on peut espérer à minima l'implantation de 60 éoliennes en Île-de-France pour une puissance totale de 170 Mw constituent indéniablement d'autres signaux forts.

Cependant les contraintes administratives à l'implantation d'éoliennes sont nombreuses et tendent à se renforcer avec l'adjonction en cours de discussion de l'obligation de procéder à l'évaluation de l'impact sur la biodiversité, de l'impact archéologique et de celui sur la sécurité publique. Une action en vue de faciliter ces démarches serait un signal positif supplémentaire de la volonté régionale de développer son marché éolien domestique.

- Favoriser localement l'acceptabilité sociale des éoliennes :

Concernant l'acceptabilité sociale, son effet n'est pas à négliger et peut être rédhibitoire, même si une partie importante de la population se dit favorable à l'accueil d'éoliennes. On a vu comment les pays nordiques, Danemark et Allemagne en tête, avaient su lever cet obstacle en favorisant une sorte d'actionnariat populaire des parcs éoliens. Le mode de développement des parcs en France rend très difficile ce type de participation, cependant il existe des expériences françaises<sup>69</sup> où la formation de coopératives de propriétaires est encouragée et favorisée avec aussi la participation au capital des collectivités territoriales de tous les niveaux. Les expériences d'éolien citoyen sont

---

<sup>69</sup> Notamment celles du Varne en région Bourgogne, d'éoliennes en pays de Vilaine, du Semer à Issoudun.

encore rares en France. Ce ne sont pas pour le moment des actions motivées par le gain financier, même si la rentabilité des projets de l'ordre de 4 à 7% suivant les cas n'a rien de négligeable pour de petits investisseurs privés. Ces projets relèvent avant tout d'actions citoyennes qui s'appuient notamment sur la volonté de bénéficier localement des retombées de l'exploitation de ressources éoliennes par essence locales en recherchant une adhésion la plus large possible des populations. Une tel développement est possible en Île-de-France et pourrait prendre différentes formes comme par exemple inciter les acteurs locaux à s'organiser en coopérative en appuyant administrativement voire financièrement leur structuration, en apportant un abondement à la participation des populations locales<sup>70</sup>. Concernant les projets portés par les grands investisseurs privés, on pourrait imaginer, sous réserve du caractère légal de cette démarche, la mise en place d'une obligation de donner la possibilité aux riverains et collectivités concernées par le futur parc éolien de détenir une part du capital investi.

Un autre axe pour contribuer au renforcement de l'acceptabilité sociale, serait de commencer par développer le petit éolien, en s'appuyant particulièrement sur des initiatives locales.

## Objectif 5 : Porter la thématique du petit éolien

**Constat** : le petit éolien est une branche de l'éolien en cours de développement avec un marché national embryonnaire et surtout des technologies en cours de maturation et une filière en cours d'organisation. Si les freins au développement de cette branche sont en partie techniques (performance, fiabilité, bruit), ils sont aussi liés à un manque de confiance du public puisqu'il n'y a pas à ce jour de norme nationale concernant la performance du petit éolien en France. Enfin, il existe des barrières économiques avec l'absence d'un tarif de rachat préférentiel à l'image du PV et des barrières administratives qui consistent à traiter le petit éolien quasiment au même titre que le grand éolien.

**Enjeu** : Il est possible de développer une filière du petit éolien en France et en Île-de-France avec des acteurs français, en s'appuyant sur un marché potentiellement important et de nombreuses créations d'emploi si l'on observe ce qui se passe au Royaume-Uni où l'emploi y est de l'ordre de 9 000 en 2009.

Concernant spécifiquement le petit éolien : le rapport « *filiales vertes* » préconise pour la France de mener des études de faisabilité en développant les essais de petit éolien en zone dense.

### Menace ou frein :

**En France** : le petit éolien est soumis à la réglementation sur les Zones de développement de l'éolien (ZDE) jugée inappropriée : il n'existe pas de tarif de rachat spécifique ; compte-tenu de la nature des investisseurs et des rendements attendus les contraintes administratives à l'implantation sont perçues comme étant fortes ; il n'existe pas de norme industrielle en France ; les performances réelles sont inférieures de 40% en moyenne à ce qui est affiché par les constructeurs. Ces freins techniques sont particulièrement vrais pour l'éolien monté sur toiture.

**Plus spécifiquement en Île-de-France** : les contraintes à l'implantation en zone dense sont exacerbées ainsi que les problèmes d'acceptabilité sociale (nuisances, environnement).

### Opportunités pour l'Île-de-France :

Il existe de réelles opportunités concernant le petit éolien, en particulier le petit éolien urbain encore très peu développé et peu structuré. Il faut cependant rappeler que c'est aussi la branche pour laquelle il existe encore beaucoup de questions quant aux performances technologiques des matériels, les capacités réelles de production en site urbain. A ce titre les incertitudes concernant la future croissance du marché sont très fortes.

-Il y a un besoin non satisfait d'améliorer la connaissance de la ressource éolienne en ville en mettant sur pied une méthode robuste permettant de se passer de tests in-situ pour l'installateur et dont le coût est rédhibitoire. Il existe en IDF des organisations et centres de recherche ayant la capacité de se pencher sur la question.

---

<sup>70</sup> Par exemple, en Ile-et-Vilaine, le projet de l'association Eoliennes en Pays de Vilaine qui rassemble 750 membres propriétaires de parts de 2000 euros chacun, a bénéficié de l'appui de tous les niveaux de collectivités locales qui ont contribué à hauteur de 50% à l'investissement initial qui représentait 3 millions d'euros.



- Par ailleurs, dans l'éventail national de l'offre de sites d'essai de petites éoliennes, il n'existe pas à ce jour de site d'essai urbain ou en zone dense notamment sur toit.
- les souffleries IAT de St Cyr sont en passe de développer une offre incorporant un taux de turbulence supérieur à 10% permettant de se rapprocher des conditions réelles en site urbain.
- Des constructeurs franciliens ont émis le souhait de développer un site de production propre, l'Île-de-France faisant partie des sites potentiels. Près de 100 emplois pourraient potentiellement voir le jour à un horizon de 3 ans.
- De nombreux sites moins urbains pourraient accueillir des éoliennes de moyenne et petite taille sur mât pour satisfaire des besoins plus locaux : sites commerciaux, sites d'activité, exploitations agricoles.

#### **Proposition d'action et porteurs :**

En Ile de-France, le petit éolien est un domaine qui relève plutôt du pôle Advancity car lié à la problématique urbaine, au moins en ce qui concerne l'éolien sur bâti.

#### Faire avancer la recherche sur le petit éolien :

Il s'agirait principalement de contribuer à lever les deux principaux obstacles qui freinent le développement du petit éolien notamment urbain (hors questions réglementaires et tarifaires) :

- Améliorer la connaissance fine de la ressource éolienne en ville
- Participer à l'organisation d'une certification nationale des petits aérogénérateurs.

-Organiser et soutenir un pool de recherche sur l'amélioration de la connaissance de la ressource éolienne en ville, sa turbulence et la prédiction de production. Ce pool pourrait être abrité au sein d'Advancity et intégrer le CSTB, des organismes ayant une expérience dans la connaissance de la ressource éolienne (voir tableau des laboratoires p 72) ainsi que des acteurs ayant une connaissance de la morphologie urbaine (agences d'urbanisme, IGN...), auxquels pourraient s'adjoindre un ou plusieurs organismes ayant d'importantes capacités de calcul et de simulation (INRIA par exemple). Ce pool de recherche pourrait éventuellement proposer la formation d'un IEED sur la thématique du petit éolien.

- En complément de l'action précédente, développer un site de test spécifiquement axé sur l'éolien en zone urbaine dense et en ville qui s'intéresserait notamment à la problématique de la fatigue des matériaux dans cet environnement très perturbé que constitue le milieu urbain. Ce site pourrait être couplé avec d'autres formes d'ENR (PV, solaire thermique, biomasse). Il serait utile de s'appuyer sur les acteurs industriels ayant déjà mis sur pied de tels équipements : EDF, GDF-Suez, des acteurs de la certification, ainsi que de mobiliser les ressources régionales de test en soufflerie, notamment celles de l'IAT de St Cyr qui a de plus abrité dans les années 50-60 les tests des petites machines d'Aerowatt qui deviendra Vergnet.

Ce site pourrait se situer au sein d'un environnement dédié à la recherche et aurait ainsi l'avantage de concentrer recherche et test ainsi que de réduire les risques d'impact négatif sur les populations.

Durapôle a mis sur pied en partenariat avec la ville de Paris une plate-forme pilote sur l'eau, une telle action est-elle reproductible dans le domaine de l'éolien urbain ?

- Mener des actions de tests réels sur des quartiers pilotes, sur le mode de l'expérience britannique « Warwick wind trials » (voir annexe 3) en y faisant participer des constructeurs locaux.

#### Soutenir les acteurs industriels locaux :

- Dans un premier temps, il s'agit d'identifier et d'accompagner les constructeurs de petit éolien présents en Île-de-France et souhaitant étendre leur activité. L'action régionale pourrait prendre la forme d'un accompagnement et soutien à la recherche, d'une implication de ces acteurs dans les expérimentations locales qui se mettraient en place. Pour ceux ayant un projet industriel en vue comme un site d'assemblage, de leur proposer des solutions immobilières<sup>71</sup> et de faciliter leurs démarches.

---

<sup>71</sup> Un projet identifié par nos soins indique la nécessité de disposer d'un local de 3 000 m<sup>2</sup> hors surface de stockage extérieure

### Soutenir un marché francilien :

- A une échelle infra régionale, en utilisant des relais locaux notamment associatifs, chercher à fédérer des utilisateurs potentiels d'éoliennes (sites commerciaux, sites d'activité, exploitations agricoles) afin de les accompagner dans leur démarche, favoriser la mutualisation des achats d'éoliennes et aussi par contre-coup favoriser la progression de l'acceptation sociale avec un intérêt direct à la production et une information sur la production (sur les sites publics).

- Dans une démarche régionale de développement d'un marché, on pourrait imaginer la mise en place d'une aide à l'achat de petites éoliennes qui soit conditionnée à un achat groupé, avec un seuil minimum de machines, et que les matériels sélectionnés aient fait l'objet de tests par des structures reconnues (SEPEN à Narbonne pour les moins de 36 kW, futur site du CSTB de Nantes pour les plus de 36 kW ou possible centre de test francilien pour l'éolien monté).

### **Conclusion du chapitre :**

Toutes les expériences soulignent l'importance de l'implication et de l'appui du secteur public et notamment des collectivités locales dans la mise en place de clusters éoliens locaux et la participation à la mise en place d'une filière éolienne nationale. L'extrait de l'intervention reproduite ci-dessous de Xavier Pinardon, responsable de missions chez Alcimed<sup>72</sup>, à propos des conditions nécessaires pour mettre en place une filière off-shore française est valable pour l'ensemble de la filière éolienne.

*« ...Les collectivités territoriales ont également un rôle à jouer, tout particulièrement dans les coordinations entre les acteurs de la filière et leur concentration géographique, les subventions aux programmes de recherche, l'orientation des programmes de formation, l'identification de sites propices à leur déploiement et leur acceptabilité sociétale. La structuration de la filière des énergies marines ne se fera pas sans le soutien des pouvoirs publics et il est indispensable que les acteurs publics à tous les niveaux de gouvernance s'impliquent afin que la France puisse s'imposer comme un leader industriel au niveau international. »*

---

<sup>72</sup> Extrait de l'article « La France, futur leader mondial des énergies marines ? », cleantech republic, 7 avril 2011

# Conclusion générale

L'industrie éolienne française apparaît sous-développée au regard des pays les plus avancés dans ce domaine et ce malgré un marché national qui progresse fortement et la place au 3<sup>e</sup> rang européen en 2010. Si la France est largement distancée dans l'éolien au niveau industriel, puisqu'il n'existe pas de constructeur de grand éolien en France ni de filière organisée, elle dispose néanmoins d'atouts pour défendre et conforter sa place de fournisseur auprès des constructeurs européens d'éoliennes. Bien plus, elle pourrait voir apparaître un ou deux champions nationaux dans le domaine de la construction d'éoliennes off-shore qui représentera près de 40% du marché européen en 2020 et dont les technologies innovantes devraient favoriser un bouleversement de l'ordre établi observé actuellement dans l'éolien terrestre. De plus, depuis deux ans l'Etat français a décidé de faire une priorité du développement d'une filière éolienne nationale, avec notamment l'objectif de créer 50 000 nouveaux emplois dans l'éolien au terme de 2020 en plus des 11 000 existants en 2010.

L'Île-de-France dispose à cet égard d'atouts non négligeables sur l'ensemble des familles de l'éolien (terrestre ou off-shore) au regard de ceux des autres régions. Elle abrite de nombreux acteurs régionaux impliqués dans la filière, avec quelques fournisseurs d'envergure internationale, mais surtout plusieurs acteurs qui se sont positionnés sur l'appel à démonstrateur éolien off-shore lancé par l'ADEME (Technip, Saipem, EDF, IFP-EN...), avec pour ambition de figurer parmi les chefs de file de l'éolien français.

De plus, l'industrie éolienne met en œuvre des technologies présentes dans plusieurs secteurs industriels stratégiques pour l'Île-de-France (notamment l'automobile, l'aéronautique, la mécanique, l'énergie), ce qui constitue indéniablement un atout et peut constituer un relais de croissance pour les acteurs de ces filières dont certains sont en passe d'entrer dans la filière. L'Île-de-France dispose enfin de capacités de recherche importantes qui portent sur des domaines essentiels pour l'éolien : mécanique, matériaux, mécanique des fluides, électro-technique, génération électrique, contrôle de puissance...avec en particulier de fortes compétences dans l'éolien off-shore, auxquelles il faut ajouter une forte spécificité qui réside dans une offre étoffée et variée de sites de test en souffleries.

Les exemples étrangers et régionaux montrent tout un éventail d'actions possibles dont une partie au moins pourrait être intégrées à une action francilienne en faveur de l'industrie éolienne.

Ces actions pourraient être les suivantes :

- La première action serait de rendre visibles les acteurs franciliens de la filière, de communiquer sur leurs compétences, d'organiser des participations communes sur des Salons, éventuellement de créer un label régional sous lequel abriter cette communication...
- La seconde serait de favoriser la structuration d'un réseau de fournisseurs régionaux de la filière éolienne en s'appuyant sur les points forts de la région en matière de mécanique, mécatronique, électro technique, gestion de l'énergie... En coopération et complémentarité avec d'autres clusters français existants, de renforcer leurs coopérations par une structure chargée de l'animation de la filière et qui proposerait des moments de rencontres autour de thématiques diverses...
- La troisième serait d'organiser et d'inciter la recherche à se concentrer sur quelques thématiques clés, de développer un ou plusieurs sites de tests, et s'appuyer sur l'offre nombreuse et variée de structures de test en soufflerie.
- Une quatrième action serait de permettre le développement d'un marché régional en favorisant notamment l'implication locale des populations, des associations et des collectivités locales, ce qui aiderait au renforcement de l'acceptabilité sociale des éoliennes.
- Une cinquième et dernière action porterait spécifiquement sur le petit éolien urbain qui en est à ses balbutiements et offre de grandes opportunités si tant est que l'on puisse lever les obstacles qui empêchent son développement et rendent son avenir encore très hypothétique. En plus d'un accompagnement des constructeurs franciliens de petites éoliennes, la mise en place de sites de test spécifiques pour l'éolien urbain, le lancement d'expérimentations grandeur nature sur un ou plusieurs sites pilotes comme des éco-quartiers, voire la proposition d'un IEED<sup>73</sup> sur le petit éolien urbain qui n'existe à ce jour pas en France, pourrait figurer parmi un train de mesures spécifiques au petit éolien.

Toutes ces actions sont destinées in-fine à faire de l'éolien un des futurs piliers du nouveau industriel régional et de sa plus forte implication dans le développement durable.

---

<sup>73</sup> Institut d'Excellence Energies Décarbonées

# Annexes

## Annexe 1 : Eléments bibliographiques

### Ouvrages généraux :

- Marc Rapin, Jean-Marc Noël « Énergie éolienne : Principes, Études de cas », Collection Technique et Ingénierie, Dunod/L'Usine Nouvelle, 2010

### Rapports

#### **R&D :**

- « Technologies clefs 2015 » DGCIS, Ministère de l'industrie, de l'énergie et de l'économie numérique, mars 2011.
- « Rapport d'étape », ANCRE, alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie, Juin 2010.
- « Stratégie nationale de recherche et d'innovation 2009 », rapport général Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, juillet 2009.
- « Stratégie nationale de recherche énergétique », rapport au gouvernement mai 2007.
- « Technologies clefs 2010 », DGE, Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, 2006.
- « Programme de recherche et développement technologique, filière éolienne, description du programme 2004 à 2006 et point à échéance 2005 », ADEME mars 2006.
- « Bilan et prospective de la filière éolienne française, rapport final », Jérôme Gosset, Thierry Ranchin, Armines, CEP, février 2006.
- « FP7 research priorities for the renewable Energy sector 2007-2013 », EUREC (European Renewable energy centres Agency) 2005. EUREC regroupe les principaux centres de recherche européens œuvrant dans les ENR, ainsi que les associations professionnelles européennes d'entreprises œuvrant dans les ENR.
- Etude « COEF » réalisée par SAIPEM en 2004

#### **Emploi :**

- « Wind at work, wind energy and job creation in the EU », EWEA, janvier 2009.

#### **Filière et stratégies d'acteurs industriels :**

- « Eolien off-shore : vers la création d'une filière industrielle française ? », Price Waterhouse Coopers, décembre 2010.
- « Filières industrielles stratégiques de l'économie verte », commissariat général au développement durable, MEEDDM, mars 2010.
- « Windustry France » Cap Gémini pour le SER, mars 2010.
- « rapport d'information sur l'énergie éolienne » M. Franck Reynier député, rapport présenté à l'Assemblée nationale le 31 mars 2010.
- « International investment strategies & key investors study », Oxford intelligence, 2008.

#### **Eléments de benchmark :**

- « Annual report 2009 », IEA wind, juillet 2010.
- « wind barriers : administrative and grid access barriers to wind power », EWEA, juillet 2010.
- « Etude filière de l'éolien », Sofred consultants pour la Région Centre, septembre 2008.
- « Wind power in Spain », Technology review, MIT, 2008.

- « Leçons tirées de la réussite des fabricants d'aérogénérateurs en Espagne » : ministère canadien de l'industrie.
- « Étude des capacités de la chaîne d'approvisionnement de l'industrie canadienne de l'énergie éolienne », Ministère canadien de l'industrie, nov 2004.

#### **Economie de l'éolien :**

- « The economics of wind energy » EWEA, mars 2009.

#### **Marché**

- «Wind in Power» 2009 European statistics, EWEA, février 2010.
- «The European off-shore wind industry, key trends and statistics 2009», EWEA, janvier 2010.
- «The European off-shore wind industry, key trends and statistics first half 2010», EWEA, 2010.
- « global wind 2009 report », GWEC, 2009.
- «Energy [r]evolution, a sustainable global energy outlook», Greenpeace, EREC (European Renewable Energy Council), octobre 2008.
- « Scénario énergétique tendanciel à 2030 pour la France » - DGEMP-OE (2004) - synthèse des travaux réalisés en 2004 par l'Observatoire de l'énergie de la Direction générale de l'énergie et des matières premières.

#### **Sélection d'articles :**

- « Ces techno vertes difficiles à recycler », l'Usine nouvelle 9 septembre 2010
- « le baromètre de l'éolien » Euroserv'Er, mars 2010
- « la filière éolienne » Denis Florin et Florian Temime, consultants en management à Bearing Point, Futuribles juin 2008

## **Annexe 2 : Sélection de sites internet**

### **Associations professionnelles**

EREC : Groupement des associations de professionnels de l'éolien dans le monde  
<http://www.erec-renewables.org/>

GEWEC : Global wind energy council  
[www.gwec.net](http://www.gwec.net)

Association européenne des professionnels de l'éolien  
[www.ewea.org](http://www.ewea.org)

Association des industriels français de l'éolien : France énergie éolienne (FEE)  
<http://fee.asso.fr/>

Association française des professionnels du petit éolien  
<https://sites.google.com/site/afppeweb/home>

Association des industriels danois de l'éolien  
[www.windpower.dk](http://www.windpower.dk)

Association des industriels britanniques de l'éolien  
[www.bwea.com/](http://www.bwea.com/)

### **Institutions**

Agence internationale des énergies renouvelables  
[www.irena.org/](http://www.irena.org/)

Programme de l'Agence Internationale de l'Energie sur l'éolien  
[www.ieawind.org](http://www.ieawind.org)

Agence européenne des centres de recherche en énergie renouvelables  
[www.eurec.be/](http://www.eurec.be/)

site de l'ADEME  
[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

ANCRE : alliance nationale de coordination pour la recherche en énergie :  
<http://www.allianceenergie.fr/>

### **Sites d'information sur l'éolien**

Portail d'informations sur l'éolien off-shore  
[www.offshorewindenergy.org](http://www.offshorewindenergy.org)

base de donnée sur l'éolien  
<http://www.thewindpower.net/>

### **Sites de clusters éoliens français :**

[www.windenergy4lorraine.com](http://www.windenergy4lorraine.com)

[www.windforfuture.com](http://www.windforfuture.com)

[www.sepen-montplaisir.fr](http://www.sepen-montplaisir.fr), [www.pole-energies11.org](http://www.pole-energies11.org)

[www.neopolia.fr](http://www.neopolia.fr)

[www.bretagnepolenaval.org](http://www.bretagnepolenaval.org)

[http://www.havre-developpement.com/filieres\\_havre\\_eolien.asp#site](http://www.havre-developpement.com/filieres_havre_eolien.asp#site)

### **Sites des pôles et clusters franciliens intéressés par l'éolien**

Durapôle

[www.durapole.org](http://www.durapole.org)

Pôle mécatronique du mantois

[www.uvsq.fr/toute-l-actualite/pole-mecatronique-du-mantois-p2m--21210.kjsp](http://www.uvsq.fr/toute-l-actualite/pole-mecatronique-du-mantois-p2m--21210.kjsp)

Pôle mécatronique Seine amont

[www.mecatronic-sa.com](http://www.mecatronic-sa.com)

Plate forme technologique 2MP (matériaux, mécanique, productique)

[www.pft2mp.fr](http://www.pft2mp.fr)

centre francilien de l'innovation

[www.innovation-idf.org](http://www.innovation-idf.org)

Pôle de compétitivité Astech

[www.pole-astech.org](http://www.pole-astech.org)

Pôle de compétitivité Mov'Eo

[www.pole-moveo.org](http://www.pole-moveo.org)

Le lieu du design

[www.lielieududesign.com](http://www.lielieududesign.com)

### **Expériences de parcs éoliens citoyens**

L'association éoliennes en pays de Vilaine

<http://www.eolien-citoyen.fr/accueil-association-eoliennes-en-pays-de-vilaine.html>

La SEMER (Société d'économie mixte énergies renouvelables) de la communauté de communes du pays d'Issoudun

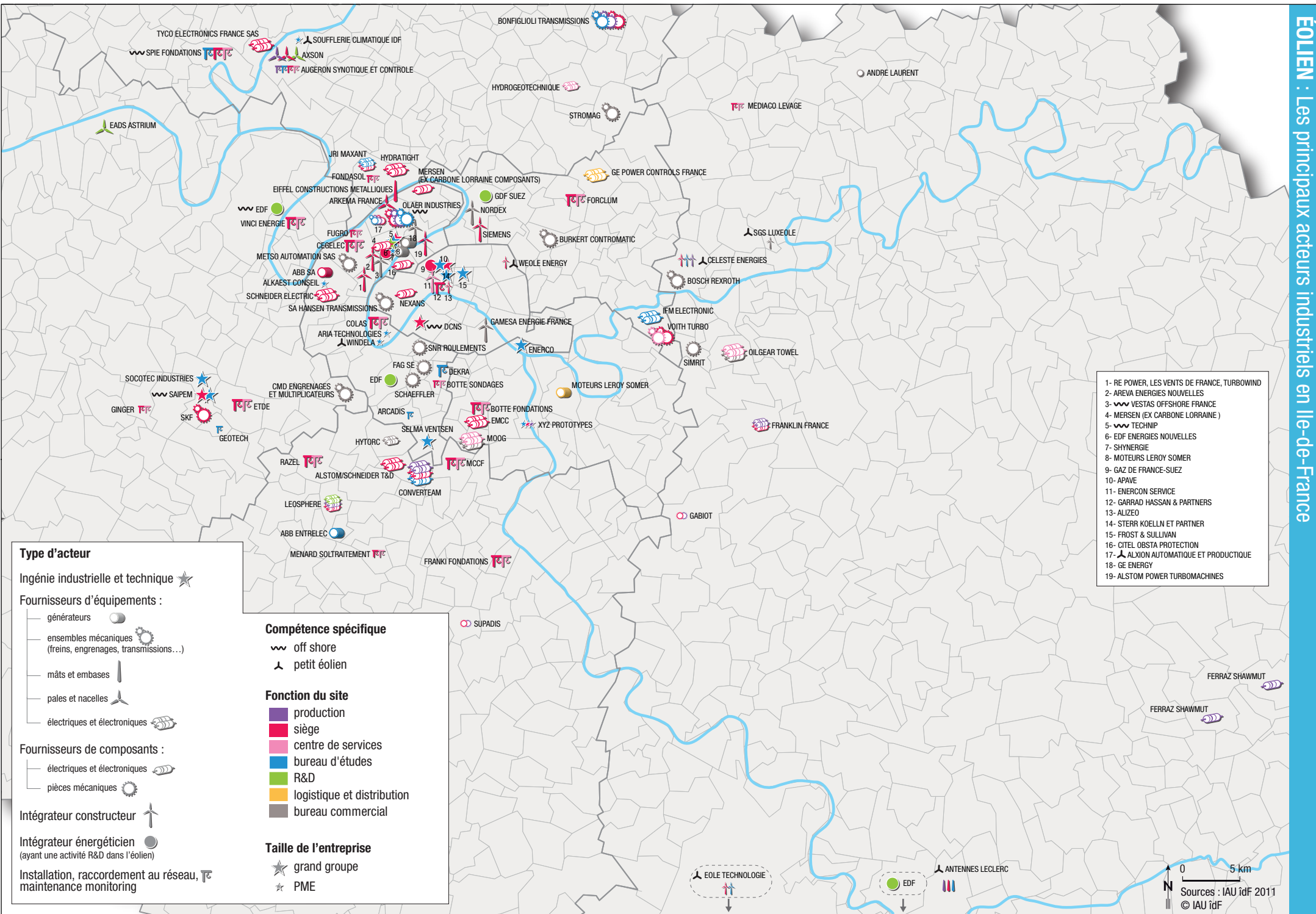
<http://www.servirlepublic.fr/developpement-durable/969/indre--un-parc-eolien--cle-en-main--pour-la-semer>

Le Varne (Valorisation des Actions de Recherche Nivernaises sur l'Environnement)

[http://ecologie58.blog4ever.com/blog/articles-cat-289391-319146-le\\_varne.html](http://ecologie58.blog4ever.com/blog/articles-cat-289391-319146-le_varne.html)

## **Annexe 3 : Carte francilienne des acteurs de l'industrie éolienne**





**Type d'acteur**

Ingénierie industrielle et technique ★

Fournisseurs d'équipements :

- générateurs
- ensembles mécaniques (freins, engrenages, transmissions...)
- mâts et embases
- pales et nacelles
- électriques et électroniques

Fournisseurs de composants :

- électriques et électroniques
- pièces mécaniques

Intégrateur constructeur ↑

Intégrateur énergétique ● (ayant une activité R&D dans l'éolien)

Installation, raccordement au réseau, maintenance monitoring

**Compétence spécifique**

- off shore
- petit éolien

**Fonction du site**

- production
- siège
- centre de services
- bureau d'études
- R&D
- logistique et distribution
- bureau commercial

**Taille de l'entreprise**

- grand groupe
- PME

- 1- RE POWER, LES VENTS DE FRANCE, TURBOWIND
- 2- AREVA ENERGIES NOUVELLES
- 3- VESTAS OFFSHORE FRANCE
- 4- MERSEN (EX CARBONE LORRAINE)
- 5- TECHNIP
- 6- EDF ENERGIES NOUVELLES
- 7- SHYNERGIE
- 8- MOTEURS LEROY SOMER
- 9- GAZ DE FRANCE-SUEZ
- 10- APAVE
- 11- ENERCON SERVICE
- 12- GARRAD HASSAN & PARTNERS
- 13- ALIZEO
- 14- STERR KOELLN ET PARTNER
- 15- FROST & SULLIVAN
- 16- CITEL OBSTA PROTECTION
- 17- ALXION AUTOMATIQUE ET PRODUCTIQUE
- 18- GE ENERGY
- 19- ALSTOM POWER TURBOMACHINES

