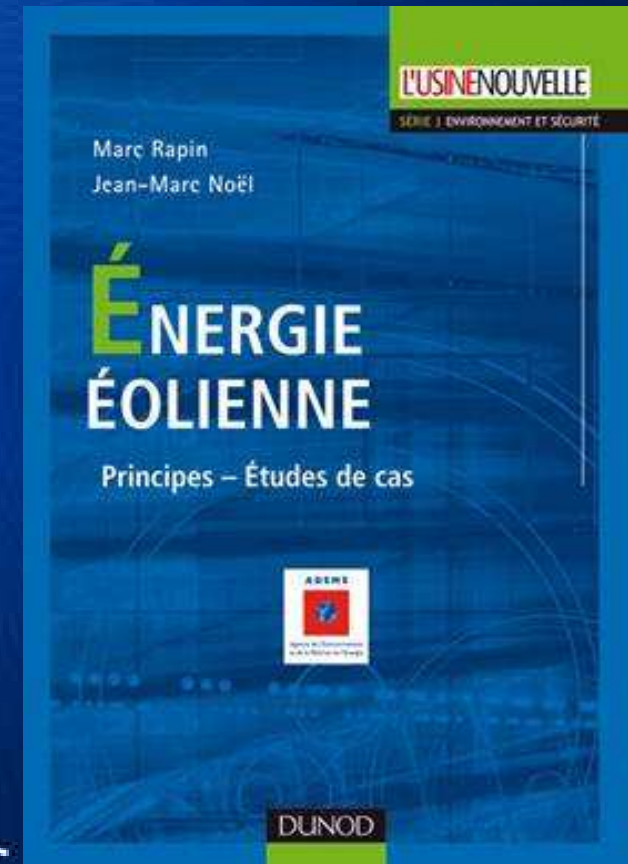


« L'envol de l'éolien »

2011

ONERA DADS
Marc.Rapin@onera.fr



retour sur innovation

1 - Evolution de l'éolien



1 - Implication de l'ONERA: contexte passé



1950 – Premières études



1961 – Rotor Rapide

Début de l'éolien au DADS

- Efforts après-guerre
- Prototype BEST-Romani 800 kW pour Ø30 m (1958-1962)
- Rupture pale rapide en 1963 = *premier problème aéroélastique...*

👉 Implication toujours dépendante du soutien des pouvoirs publics...



1982-89 – Site d'essais Lannion ADEME-ONERA-CSTB

1 – Evolution des éoliennes : Aéronautique US

Après le 1er Choc Pétrolier

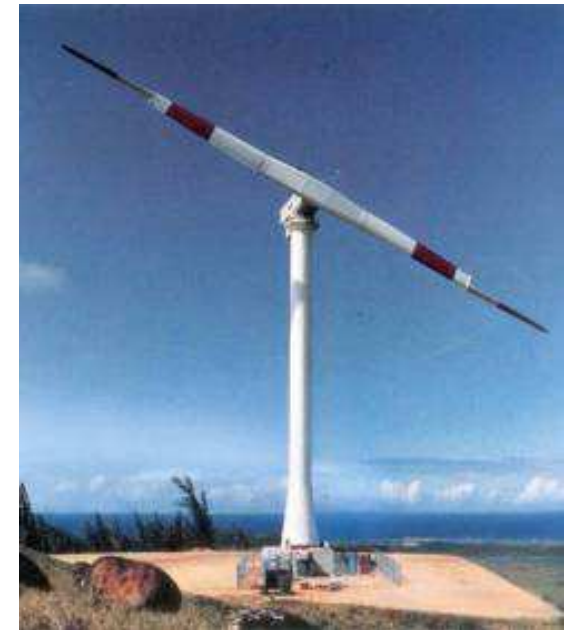
- **Effort R&D** NASA financé par le DOE de **1974-1992: 340 M\$**
- 12 prototypes de 100 kW (1975) à 3,2 MW (1987)
- **Génératrices** (Westinghouse, General Electric)
- **Pales** (Lockheed, Boeing, Hamilton) présentant des *pbs de fiabilité*



1977 – MOD 0 : 100kW



1979 – Maquette MOD 2 : 2,5MW



1987 – MOD 5B : 3,2MW

1 – Evolution des éoliennes : Europe!

« Concept Danois »... toujours Leader Mondial

- Approche pragmatique (hors aéronautique)
- Création centre de Recherche RISO (1976) + soutien politique
- Développement Filière Industrielle (« Rush Californien »)

👉 **Passage d'une logique « aérodynamique » à « contrôle-système »**



1957 – Gedser - 200kW



1979 – RISO Nibe A



1989 – V25 – 200 kW



1999 – V80 – 2MW

1 - Evolution des éoliennes : Gear Drive

Vestas V80, Nordex N80 (Denmark) etc

- P = 2 MW, Ø80 m, Hub height : 60 - 100 m
- Pitch control, variable speed : 9 - 19 tr/mn
- **Asynchronous generator + 3-stage gearbox**
- Cut-in speed: 4 m/s, cut-out : 25 m/s
- Head mass : 104 t



Pitch = 99% machines



1 - Evolution des éoliennes : Direct Drive

Enercon E82 (Germany)

- P = 2 MW, Ø80 m, Hub height : 70 - 108 m
- Pitch control, variable speed : 6 - 19.5 tr/mn
- **Direct-drive synchronous annular generator**
- Cut-in speed: 2.5 m/s, cut-out : 24 - 28 m/s
- Head Mass : 125 t ?



1995: E40 500 kW



2009: E126 : 6 - 7.5 MW

Stator Ø12 m

1 - Implication de l'ONERA: contexte passé

Expertises (ADEME, OSEO etc)

+

Soutien à industriel pour nouveaux développements

DADS : rotor JEUMONT (2001-03, 2,6 M€)

- calculs
- essais en soufflerie
- instrumentation pale

- Conception Pale **ATV**



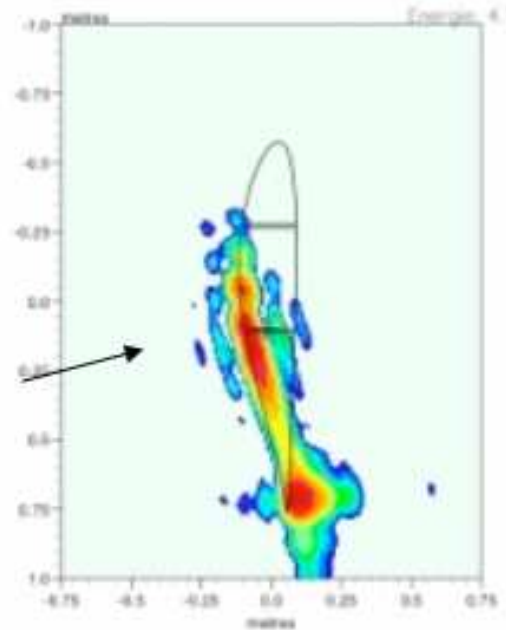
- ☞ Filière non soutenue... Abandon!
- ☞ Pas d'Ensemble français Grd Eolien

1 - Implication de l'ONERA: contexte actuel

Radar (DEMR)

- Principal motif de rejet de dossier
- Pb nbre d'éoliennes et nbre de radar
- Masquage, Réflexions, perturbations Doppler

👉 Pales furtives



Chambre Anéchoïque BABI + Simulation ONERA

SER Avion

- *Transport : 100 à 1000 m²*
- *Arme: 0.01 à 10 m²*

Eolienne

50 000 m²

1 - Implication de l'ONERA: contexte actuel

Transfert de Technologie (DOTA)
Laser, Profileur de vent,
pour caractérisation de site

 **LIDAR**



Windcube



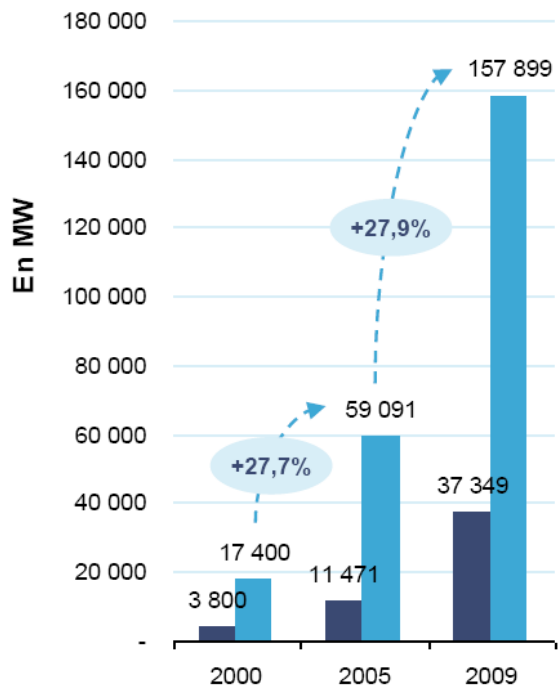
1 - Evolution des marchés : Europe

Un marché en forte croissance depuis 20 ans

Une croissance soutenue dans le monde...



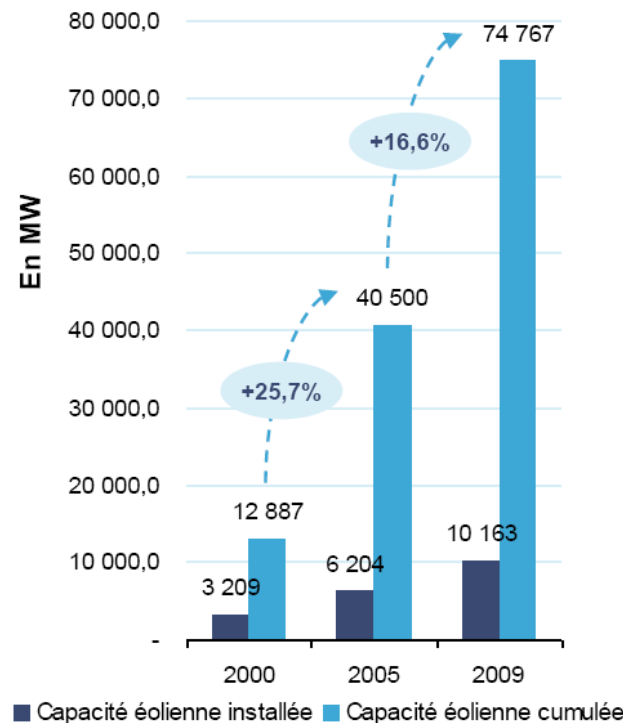
Evolution de la capacité éolienne mondiale



...en Europe...



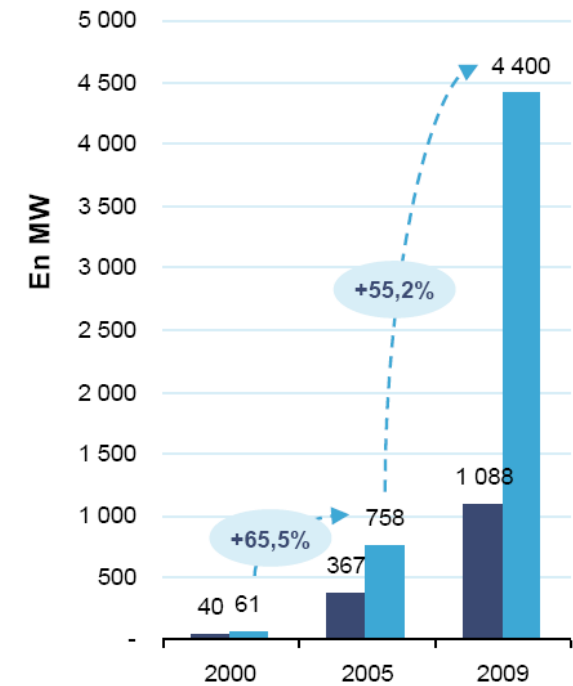
Evolution de la capacité éolienne en Europe



...et qui s'accélère en France



Evolution de la capacité éolienne en France

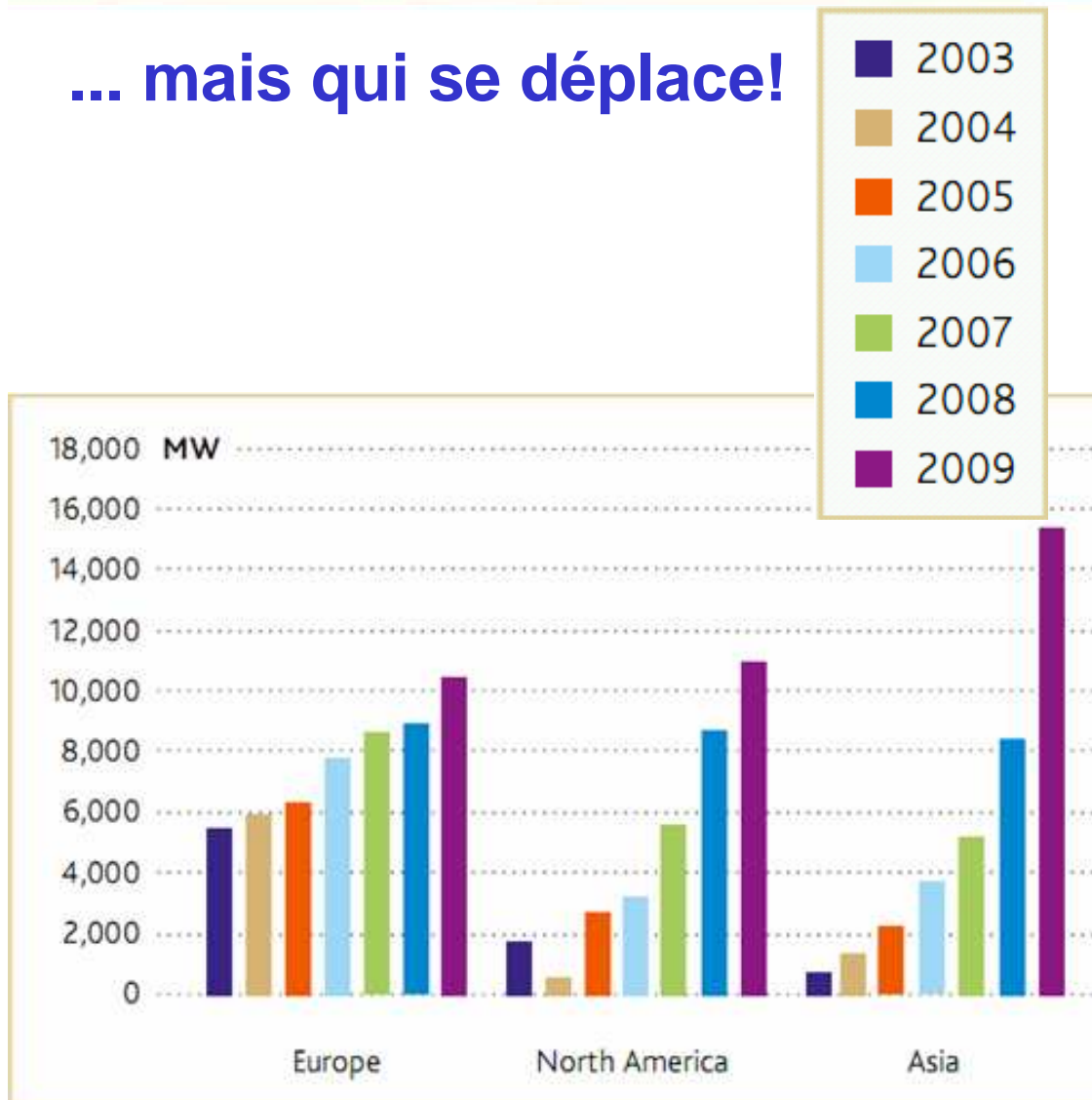


! Fin 2010: 195 GW !

Source: PRICEWATERHOUSECOOPERS

1 - Evolution des marchés : L'envol!

... mais qui se déplace!



1 - Evolution des marchés : Europe



Saturation marchés intérieurs Pionniers

	Chiffre 2010 (GW)	% Conso Electrique
Allemagne	27.2	9.4
Espagne	20.0	14.4
Danemark	3.7	24
Portugal	3.7	14
France	5.7	2.3
EU	82+2	5.3

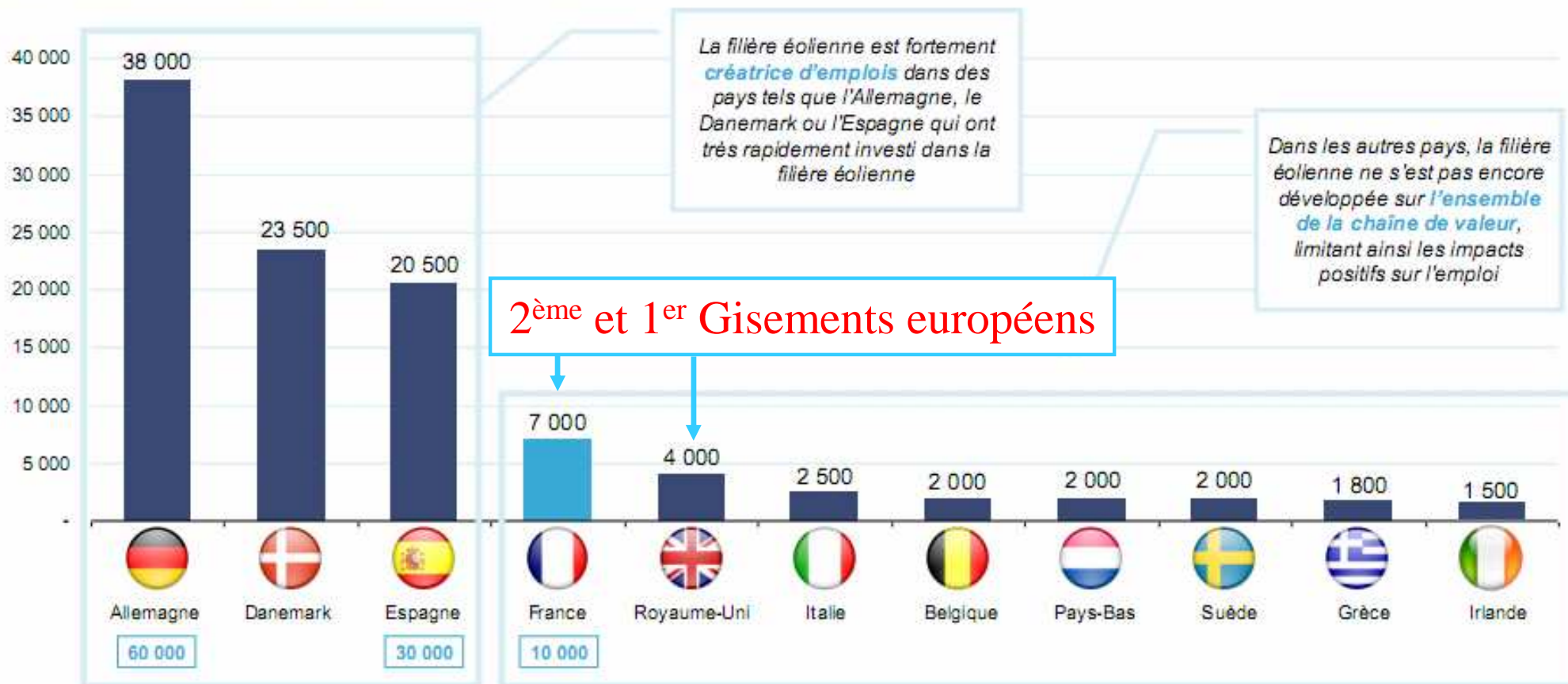
2010: Ralentissement Onshore

- 👉 Offshore Developments**
- 👉 Exportations**
- 👉 Retrofit**

1 - Evolution des emplois : Europe

L'Allemagne, le Danemark et l'Espagne représentent plus de 75% des emplois dédiés à l'éolien en Europe

Répartition des emplois issus de l'éolien en Europe en 2007



Emplois directs en 2010

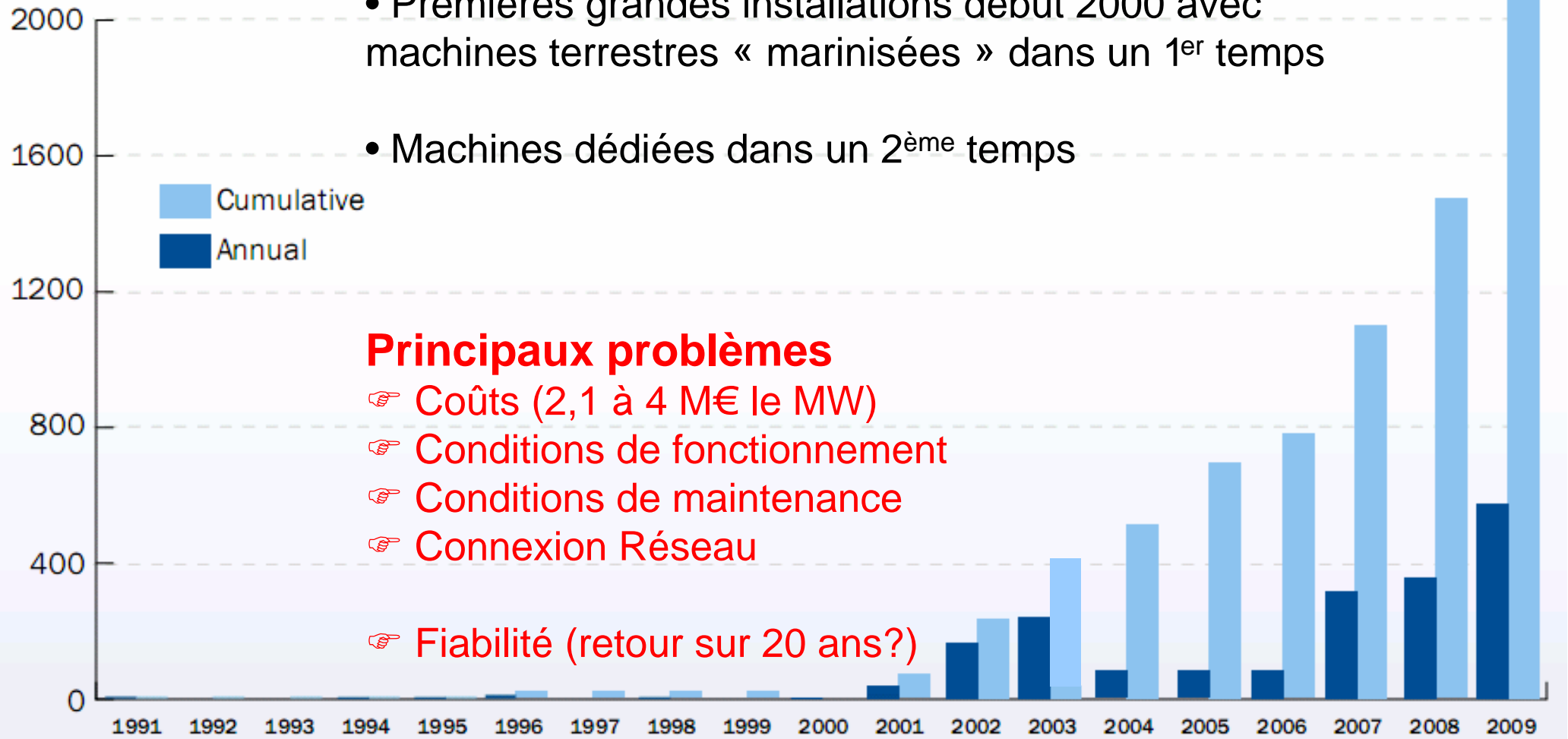
Source : EWEA, SER, Ademe, analyse PwC

170 000 pers. dont 20 000 pour l'offshore

2 - Offshore posé : marché actuel

Situation

- 1,6 GW sur les 160 GW installés dans le monde en 2009
- Premières grandes installations début 2000 avec machines terrestres « marinisées » dans un 1^{er} temps
- Machines dédiées dans un 2^{ème} temps



Principaux problèmes

- ☞ Coûts (2,1 à 4 M€ le MW)
- ☞ Conditions de fonctionnement
- ☞ Conditions de maintenance
- ☞ Connexion Réseau
- ☞ Fiabilité (retour sur 20 ans?)

2 - Offshore posé : marché actuel et moteur futur

Leadership Européen, mais...



Siemens
 SWT 2.3 MW
 SWT 3.6 MW



Vestas
 V80 – 2 MW
 V90 – 3 MW

(MW)	2009	2020
Chine	-	50 000
UK	883	30 000
<i>Danemark</i>	<i>646</i>	<i>1 300</i>
<i>Netherlands</i>	<i>247</i>	
<i>Sweden</i>	<i>164</i>	<i>7 700</i>
<i>Germany</i>	<i>34</i>	<i>10 000</i>
<i>USA</i>	-	<i>10 000</i>
<i>France</i>	-	<i>6 000</i>

Chiffre	(GW)	% Conso Electrique
EU 2020	190+40	14-17
World	1000	8,5
EU 2030	250+150	26-35

1 - Evolution marché français : opportunités

2020: Renewable Energy

= 23% of Energy Consumption

- 27% of Electricity Consumption
- 33% of Heat
- 10,5% of Transport

With 20% of consumption reduction
with **19 GW on + 6 GW offshore**



Multibrid 5 MW



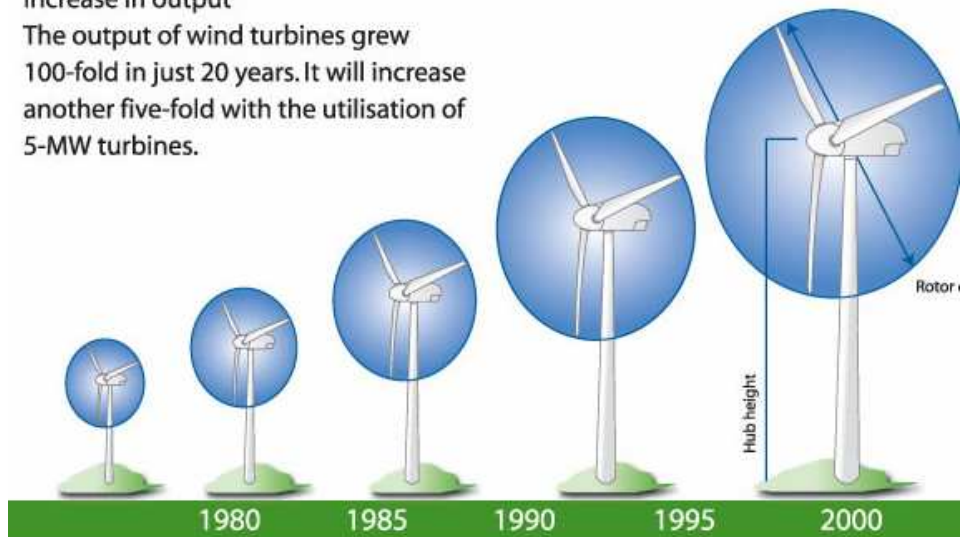
Ecotecnia 6 MW



1 – Evolution des éoliennes : Taille, Puissance...

Increase in output

The output of wind turbines grew 100-fold in just 20 years. It will increase another five-fold with the utilisation of 5-MW turbines.



Nominal power	30 kW	80 kW	250 kW	600 kW	1,500 kW
Rotor diameter	15 m	20 m	30 m	46 m	70 m

Tour Eiffel :
325 mètres

Eolienne 2 MW
Airbus A380 :
80 mètres



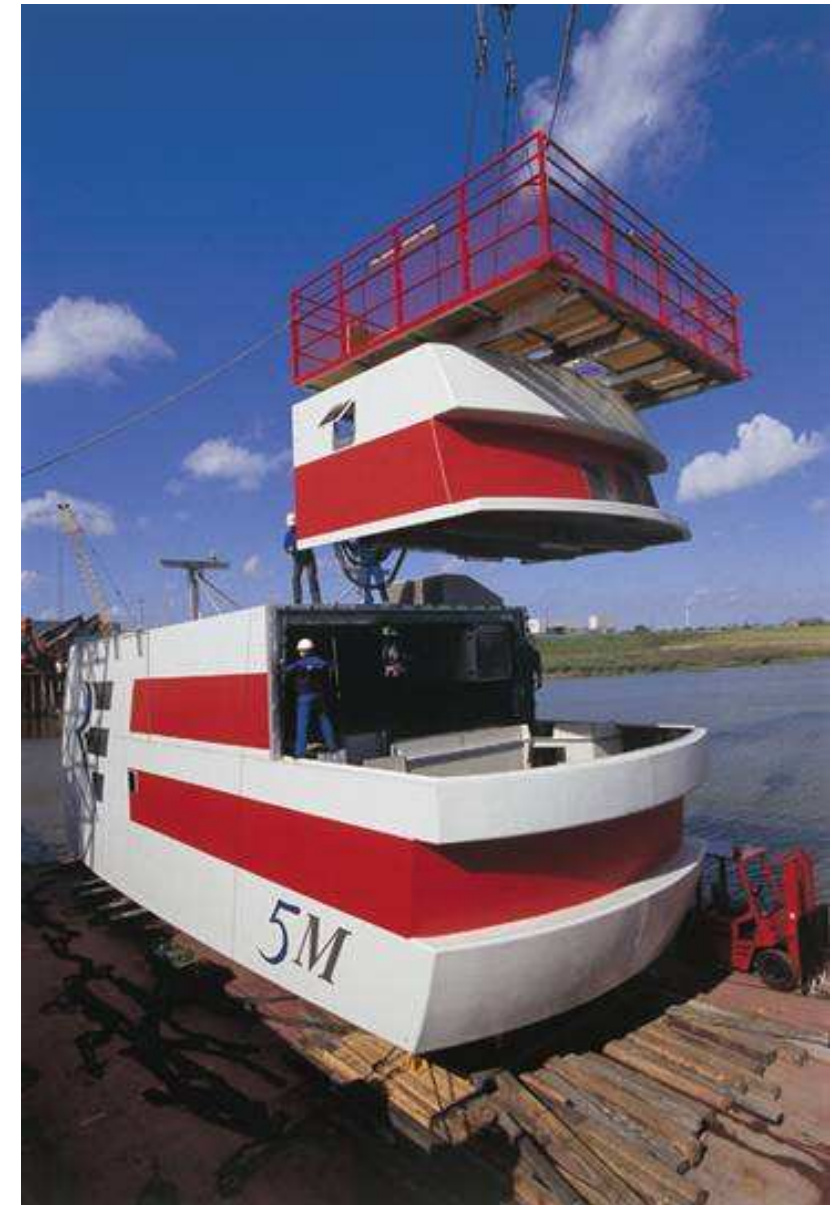
Éolienne 5 mégawatts :
170 mètres



Statue de la liberté :
93 mètres



2 - Offshore posé : Prototypes Géants... Poids!



2004 first GIANTS (Enercon, REpower...)

- 5 MW...with “classical” design
- Pitch control, variable speed (7-12 rpm)
- **Nacelle 150-290 t**

2 - Offshore posé : Prototypes Géants ... Poids!



Une pale de 61,5m : 15-20 t



2 - Offshore posé : Prototypes Géants

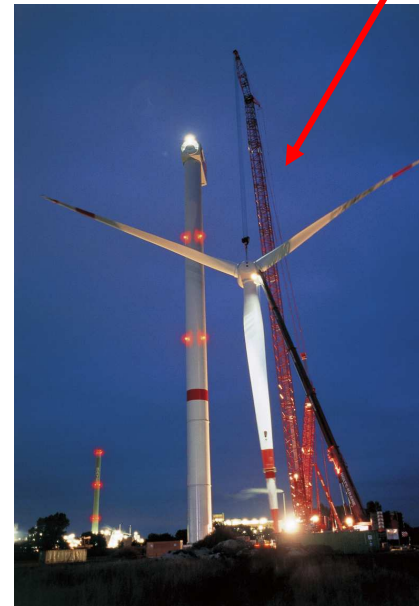
2010: Site Test Allemand
Alpha-Ventus

5 à 7,5 MW

- Machines allemandes
- Rotor 120-125 m
- testés plusieurs années près des côtes
- commercialisés depuis 2009

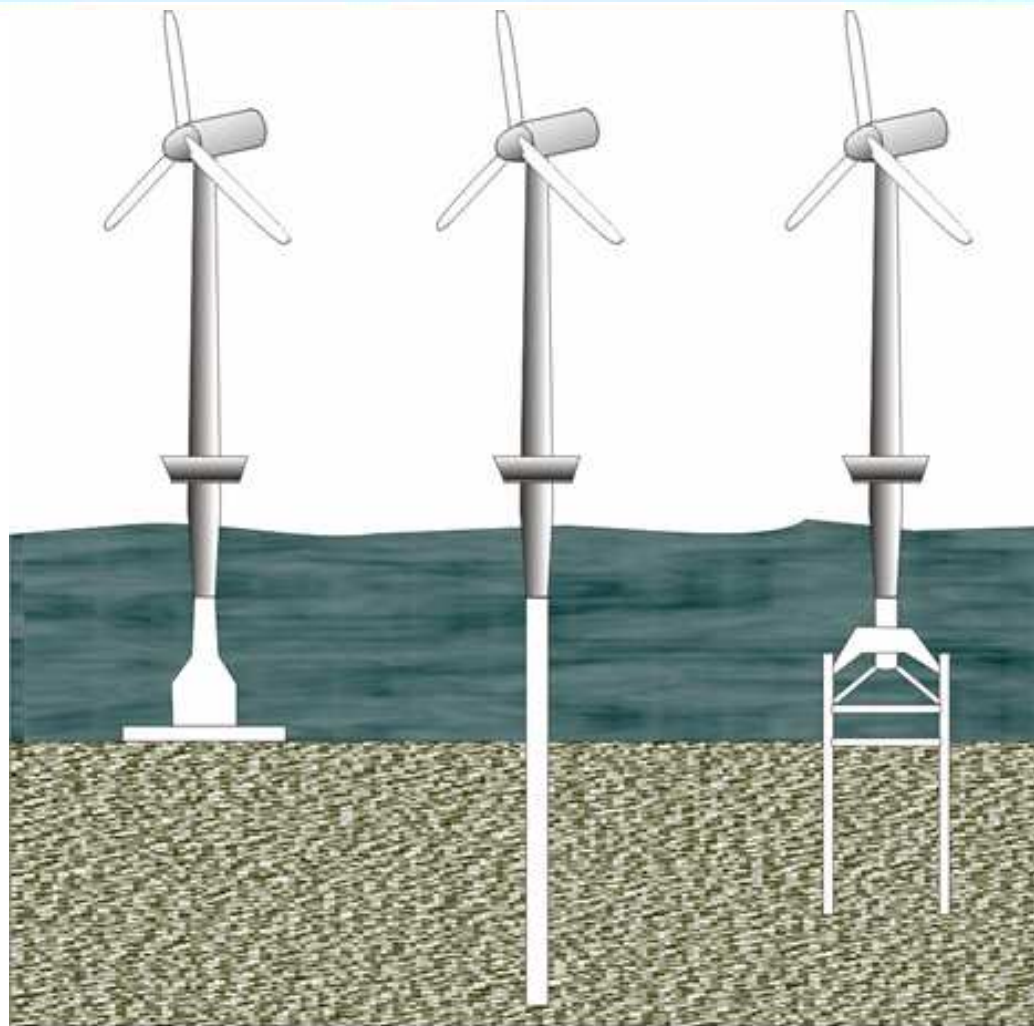


BARD VM



6 Suzlon-REpower 5M + 6 AREVA-Multibrid M5000

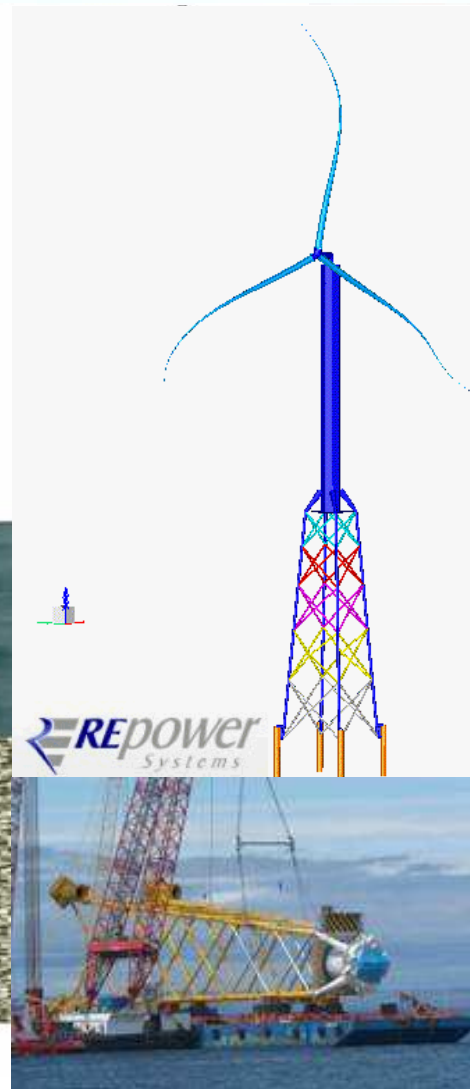
2 - Offshore posé : Fondations



Gravité

Monopile

Quadripode



Influences

Vent

Vagues

Courants marins

Nature du sol



2 - Offshore posé : Fondations

Multibrid M5000 + Tripod
Alpha Ventus, Germany
Depth = 30 m, 1000 t

RE 5M + Gravity Base
Thorntonbank, Belgique
Depth = 12 - 27 m
3630 m³ concrete + 528 t steel

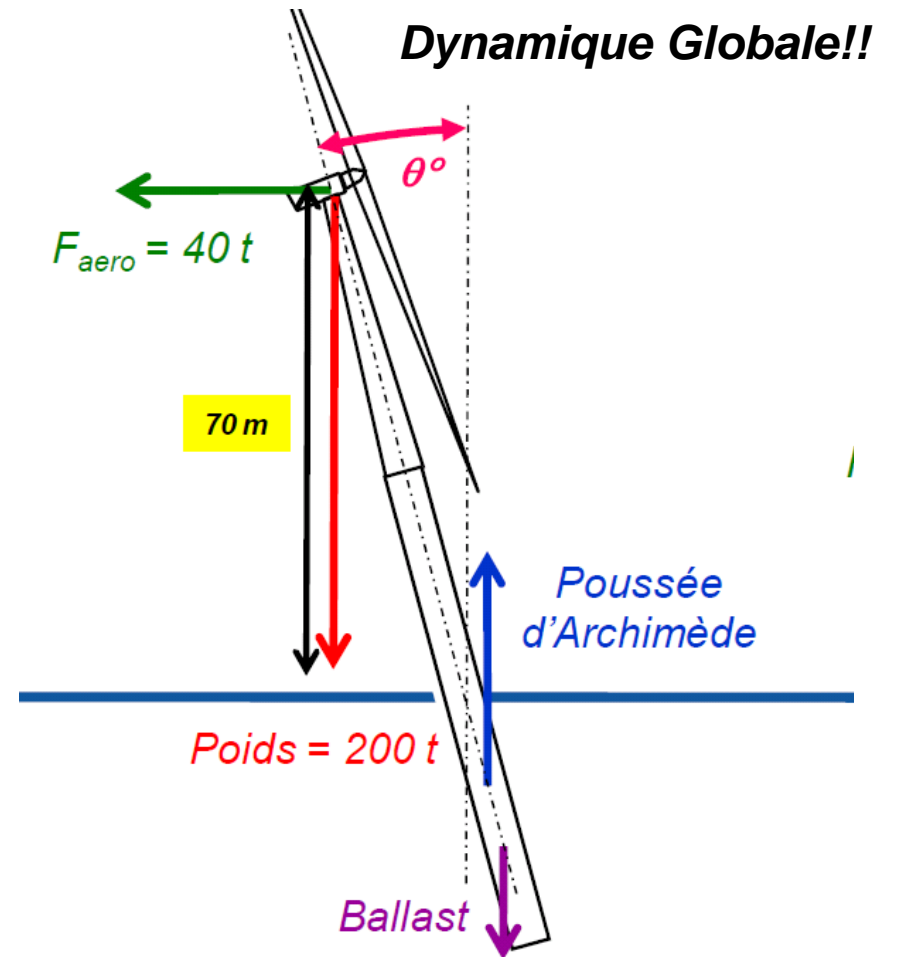
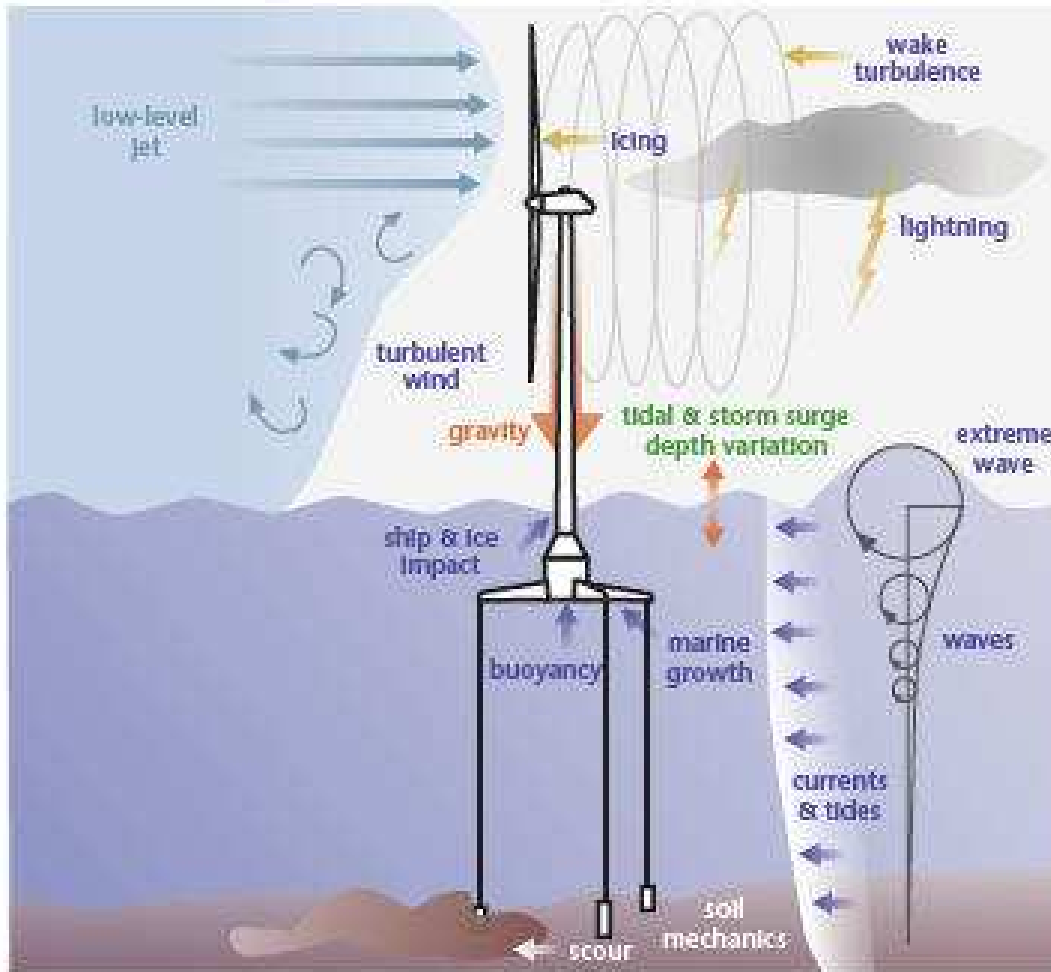


BARD VM + Tripile



3 - Offshore flottant : Problématiques

Sollicitations + Reprise du couple et moments basculants



3 - Offshore flottant : Prototypes

Statoil
Sept 2009

Siemens
2.3 MW



Depth = 220 m

Technip
Spar 100+17 m
Ø 8.3 m
1600 t

Blue H
2007

TLP

3 - Offshore flottant : Projets français

Investissements Avenir - AMI Energies Marines – ADEME 2009

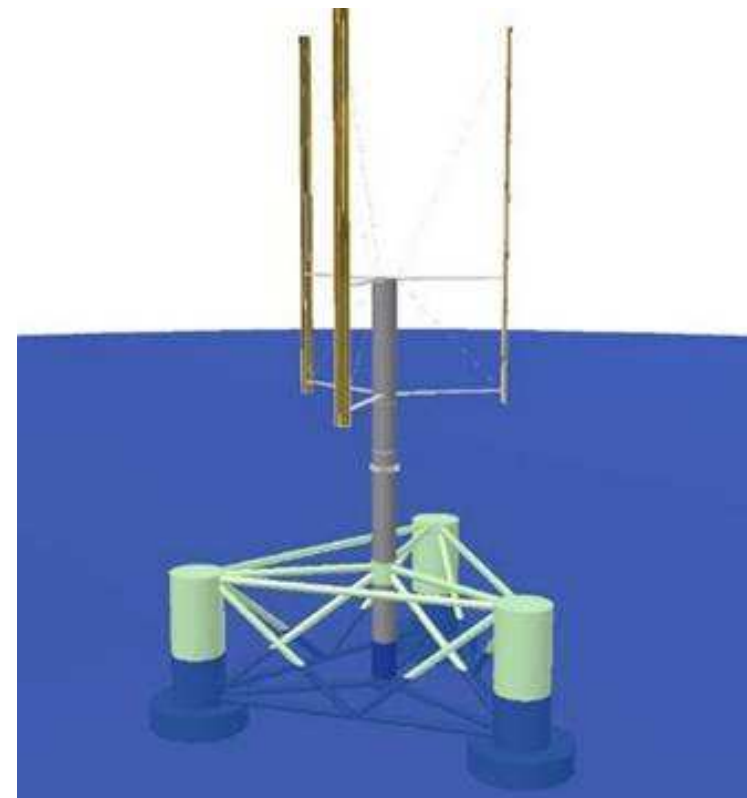
WinFlo

*DCNS, Nass&Wind, Saipem,
Ifremer, ENSIETA etc*



VertiWind

*Nenuphar, Technip, EDF-EN
Converteam, IFP-EN etc*



Marché éolien: de nouvelles exigences

Mutation industrielle en cours pour répondre aux nouveaux besoins du marché

Current issue

New required features

Apports de l'aéronautique à l'éolien

Customer Value proposition

1 *Design reliable and large turbine blades*

Product quality and limits of glass fiber deployment



- Large size composites structures
- Residence to extreme environmental conditions in particular for off-shore
- High loads reduction
- Safety / reliability requirements for 20 years
- High level certification procedures

- **Higher product guarantee level**

2 *Industrialize blade production*

Poor industrialization – most of blades are hand-made



- Automated & reliable production processes
- Strong interaction between design and manufacturing processes
- Tooling for composite blades and blade components

- **Lower production cost**
- **Higher turnover**

3 *Add intelligence to the wind turbine*

*Random monitoring Reactive maintenance**




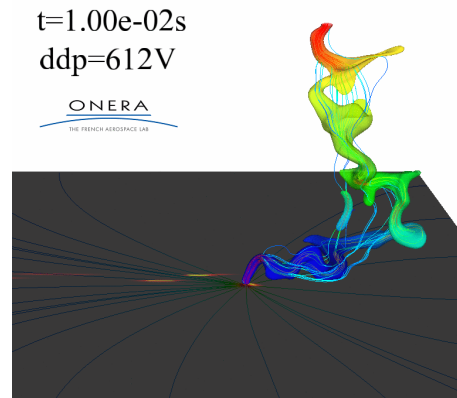
- Condition monitoring, sensors, control systems
- Robotic vehicles for remote access particularly sub-sea
- Wind resource monitoring and wind power yield management

- **Higher electricity output**
- **Lower O&M costs**

Marché éolien: de nouvelles perspectives ONERA

Foudre (DMPH)

- Principale cause de détérioration
- Pb des composites
- Point d'attache? déplacement?
-  **Protection**



Eolien

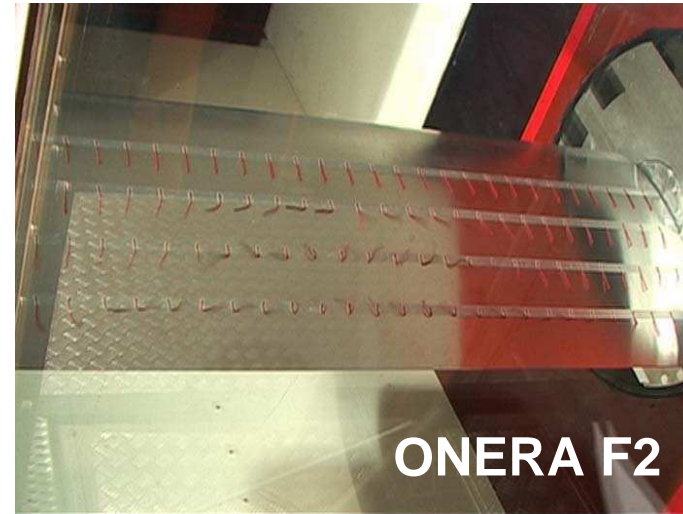
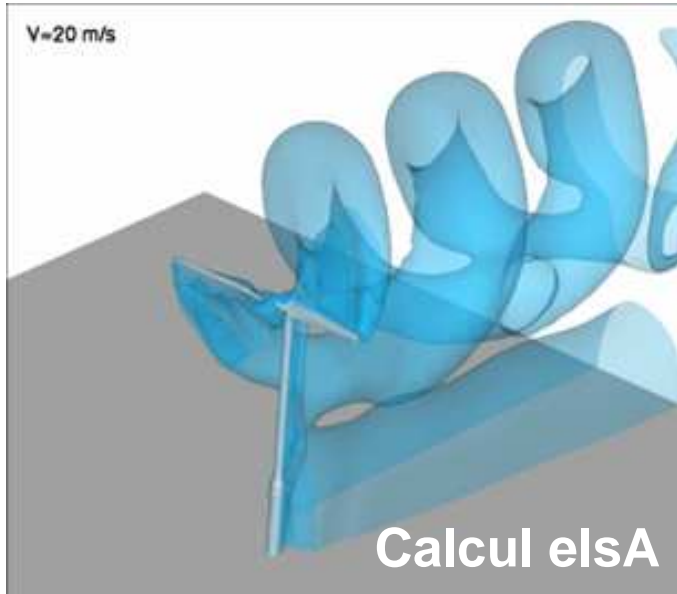
- *200 kA & 10 MJ/Ohm*
- *150 kA & 5.6 MJ/Ohm*

Aéronautique

200kA & 2 MJ/Ohm

Marché éolien: de nouvelles perspectives ONERA

Aérodynamique, Aéroélasticité (simulation, essais)



- 👉 Dimensionnement
- 👉 Optimisation
- 👉 Fatigue

Merci de votre Attention



Questions????