



DES ENERGIES RENOUVELABLES JUSQU'OU ?

Didier MAYER
Ecole des Mines de paris



- **Les EnR ont le potentiel nécessaire pour remplacer les combustibles fossiles comme contributeur prépondérant**
- **Les EnR font déjà partie intégrante du bouquet énergétique dans de nombreux pays**
- **Toutes les autres ressources sont finies**
- **Dans le temps, il n'y a pas d'alternatives aux EnR**
- **Mais: le développement des marchés dépend d'un cadre politique et légal, cohérent, prévisible et ambitieux**



Impulsion de Bruxelles

Objectifs et Directives :

Livre blanc 1997 : 12 % de la consommation en énergie primaire via les renouvelables à l'horizon 2010

- Directive électricité 2001 : passer de 15% à 22 %*
- Directive biocarburants : passer de 1% à 5, 75 %*

Décision du Conseil Européen 8/9 mars 2007 :

- Réduction de la consommation de 20%*
- 20% de contribution des renouvelables dans la consommation totale de l'EU à 2020 (actuellement 6,8 %)*
- 10 % de contribution des biocarburants dans le secteur du transport (actuellement 2,5%)*
- Réduire les émissions de CO2 d'au moins 20%*



Contribution des EnR dans la production d'électricité en EU (2004-2030)

	2004 Eurostat TWh	2010 Projections TWh	2020 Projections TWh
Wind	58.5	179	510
PV	0.74	9	62
Bioelectricity	67.9	150	300
Hydro	303.8	356	384
Geothermal	5.5	7	14
Solar thermal elect.	-	2	9
Ocean	-	3	15
TOTAL RES	435.9	706	1294
Total Electricity Generation EU25 (Trends to 2030-Baseline) (Combined RES and EE)	3178.6	3483 3314	4006 3250
Share of RES	13.7%	20.3-21.3%	32.3-39.8%



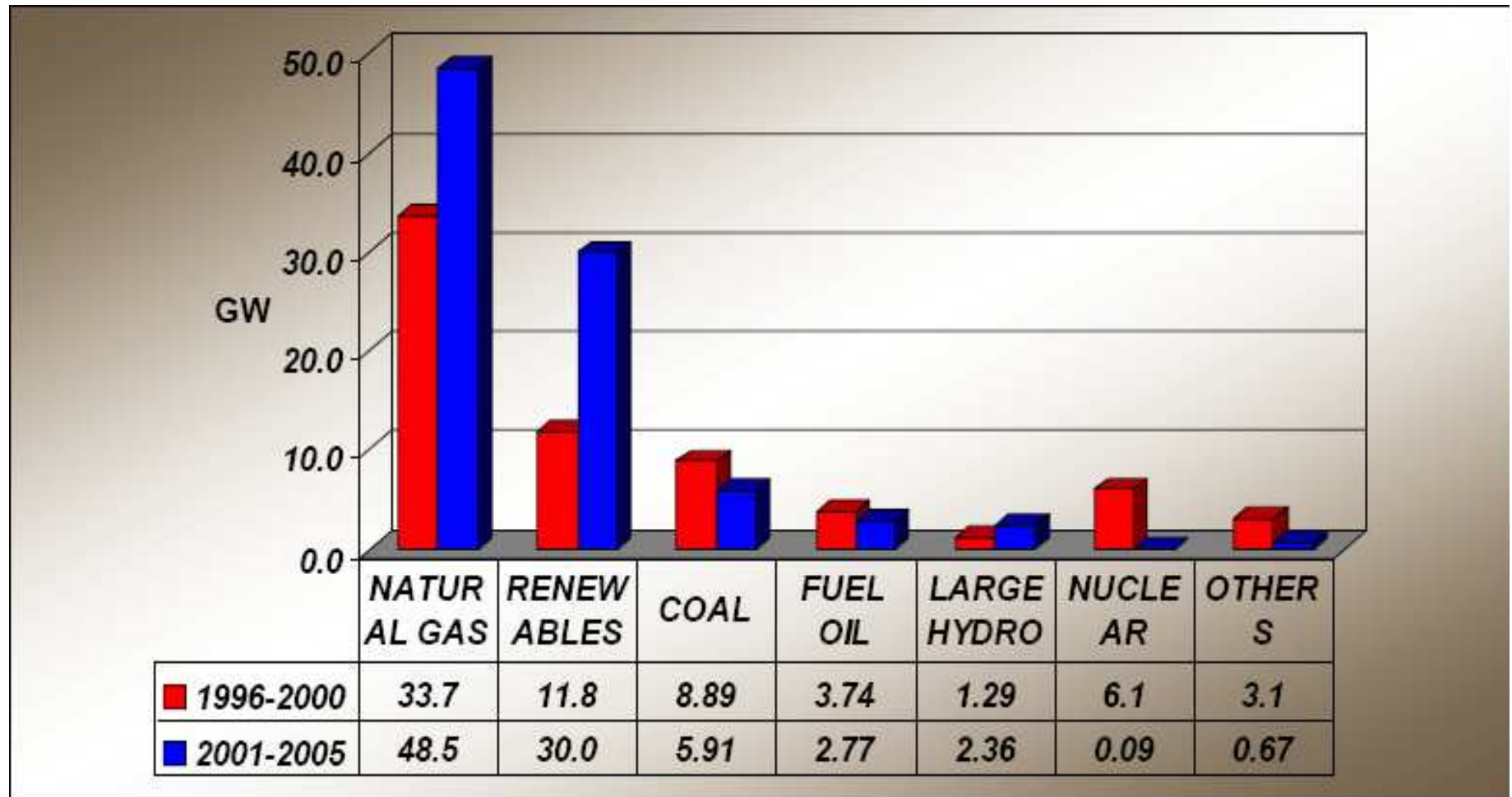
Contribution des EnR pour les biocarburants et dans la production de chaleur en EU (2004-2030)

	2000 EUROSTAT	2004 EUROSTAT	Projection 2010	Projection 2020
	Mtoe	Mtoe	Mtoe	Mtoe
Transportation Biofuels	0.63	2.1	18.0	40.0
Gasoline and oil demand (Trends to 2030-Baseline) (Combined RES and EE)	277.3	290	313 311.5	332 312
Biofuels' Share %	0.2	0.72	5.75	12.0-12.8

	2004 Eurostat Mtoe	2010 Projections Mtoe	2020 Projections Mtoe
Biomass for heat	48.4	65	105
Solar thermal	0.68	2	12
Geothermal	1.5	4	8
TOTAL RES HEAT	50.6	81	125
Total Heat Generation (Trends to 2030)	440	467	488
Share of RES	11.5%	17.3%	25.6%



Nouvelles capacités installées par combustibles dans l'EU-15



Source: Platts, EWEA

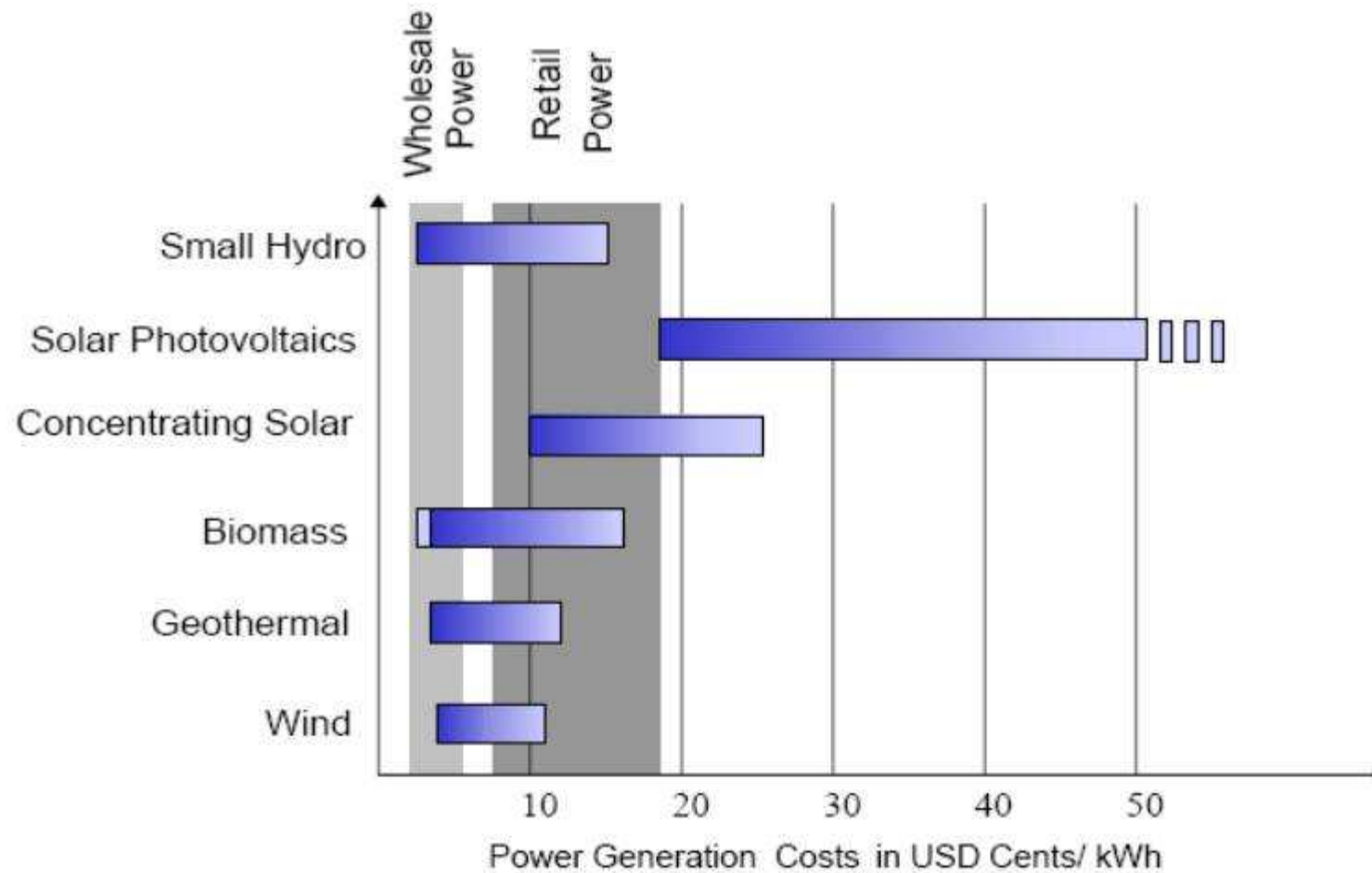


Montant total de l'investissement dans les EnR (2001 – 2020)

	2001-2010 Billion Euro	2011-2020 Billion Euro	2001-2020 Billion Euro
Wind	55	101	156
PV	10	66	76
Biomass	44	45	89
Hydro	11	9	20
Geothermal	4	7	11
Solar thermal	16	75	91
TOTAL RES	140	303	443

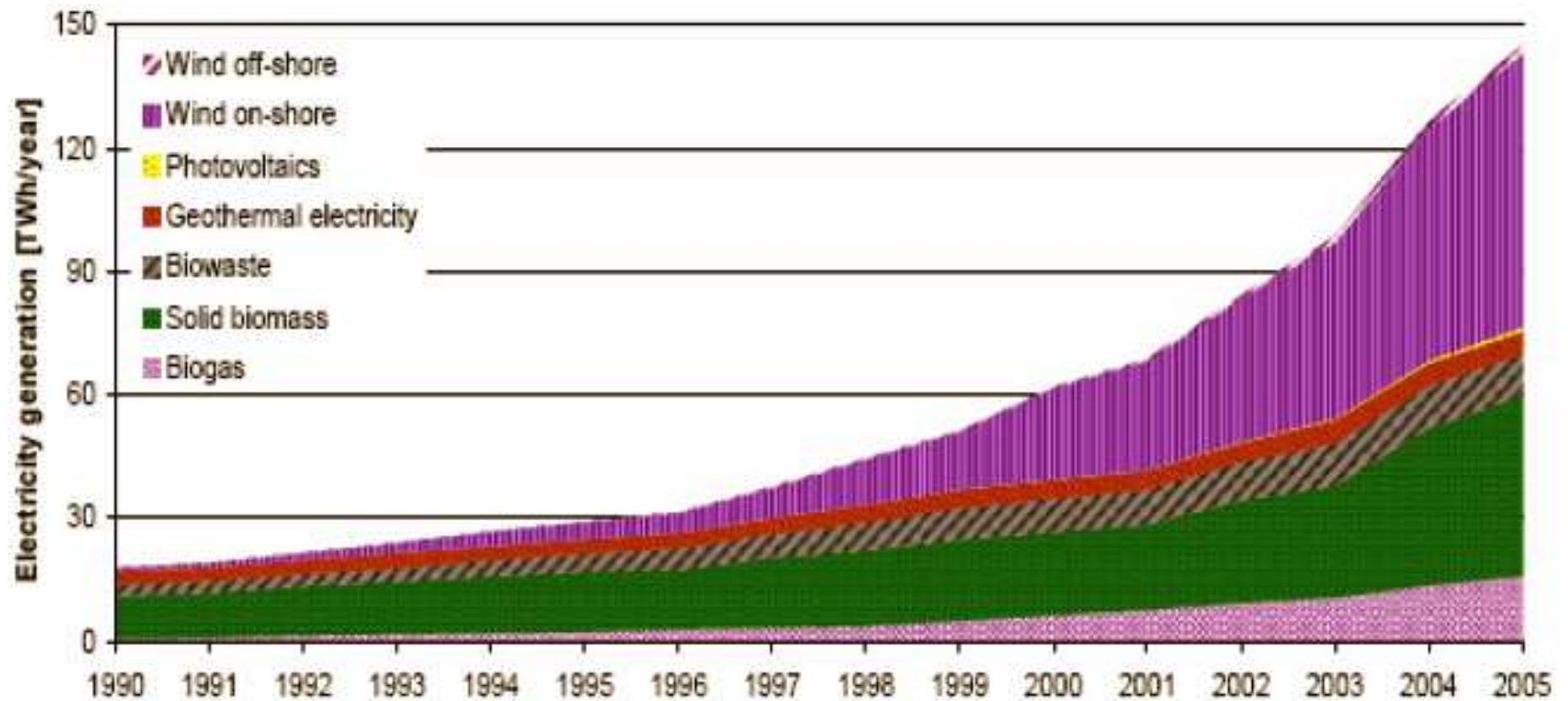


Les énergies renouvelables sont-elles compétitives ?





Production d'électricité à partir des EnR hors hydraulique

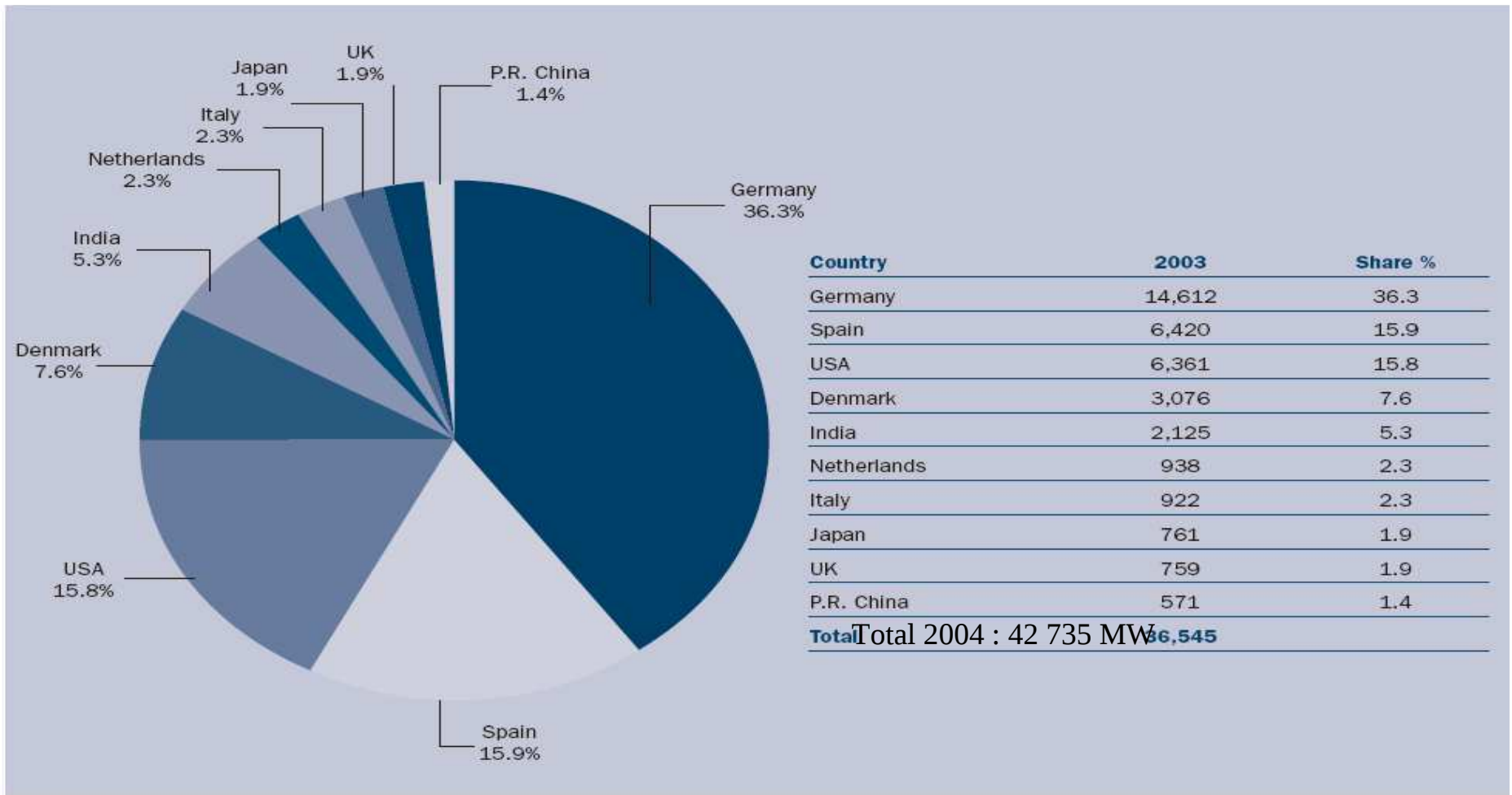


Source: EC

Supérieure à celle du DK, PT et SK réunies

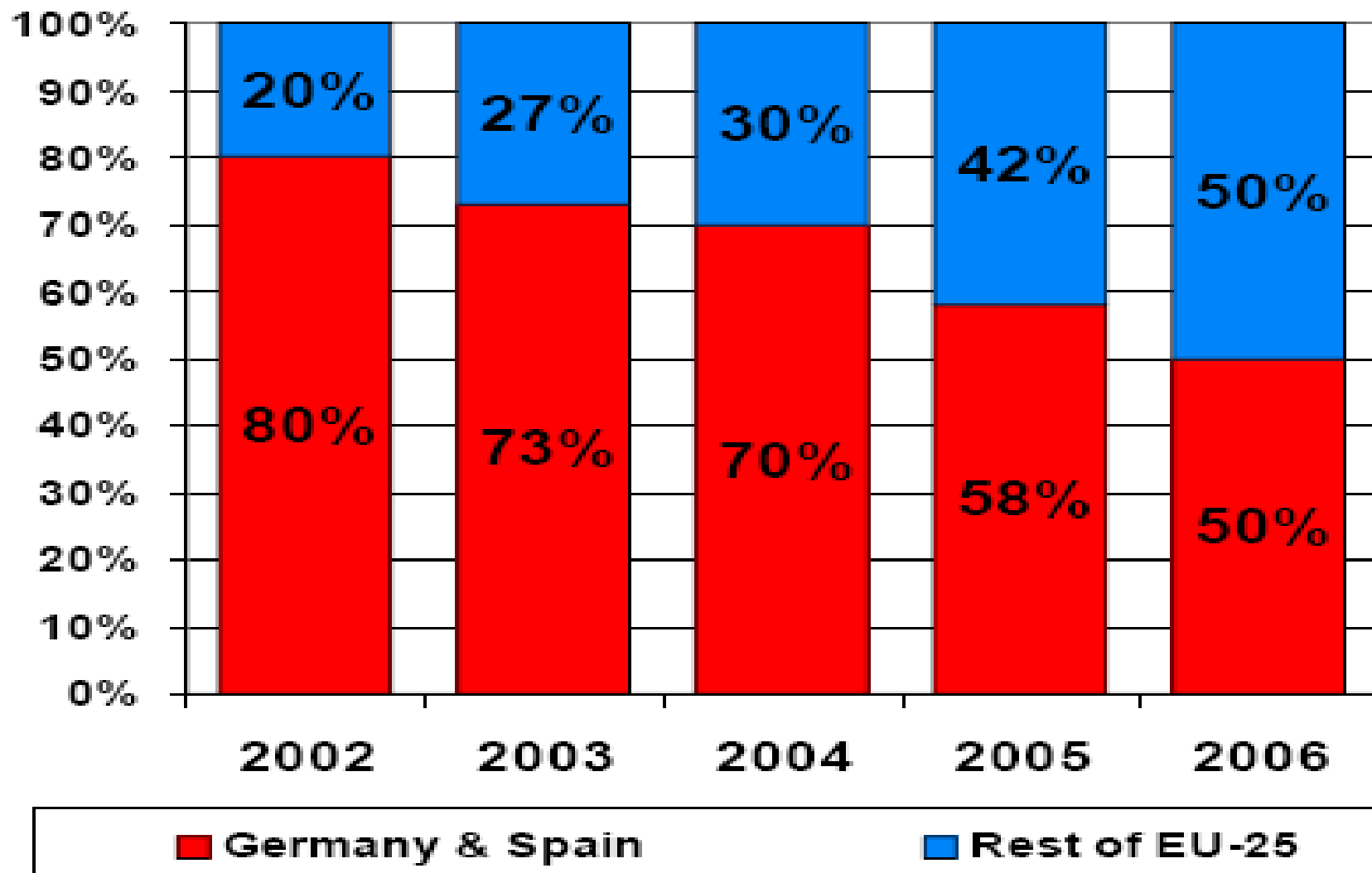


Le top 10 des marchés dans le monde



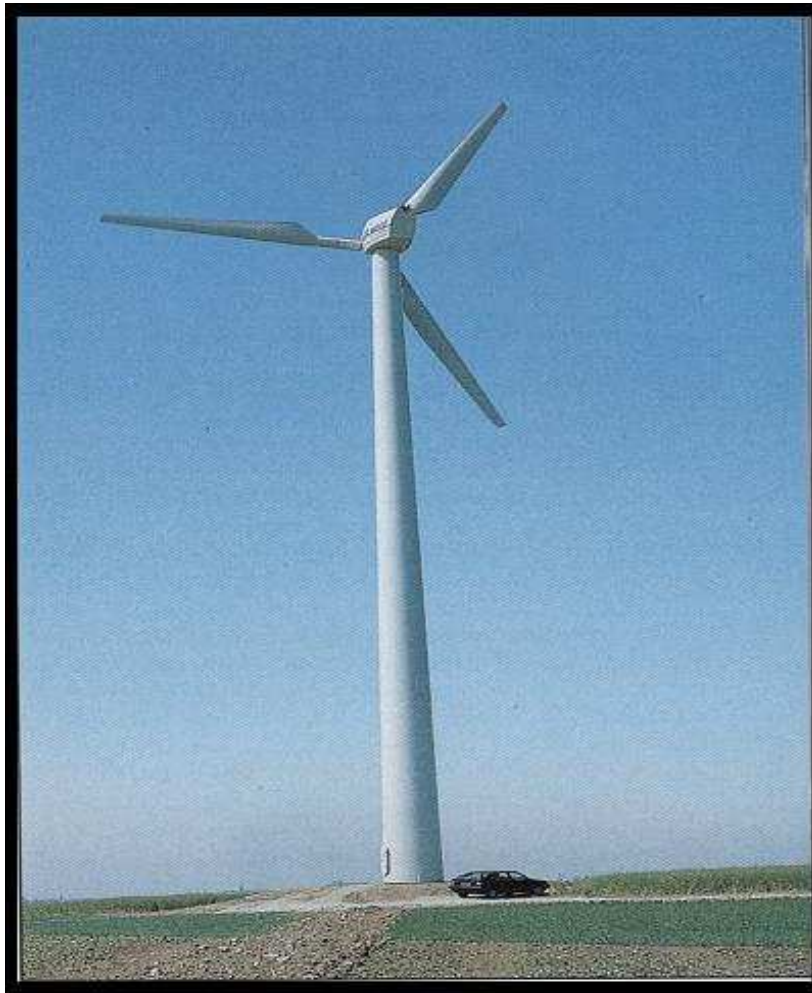


Capacité éolienne relative installée en DE et ES par rapport au reste de l'EU





Les turbines



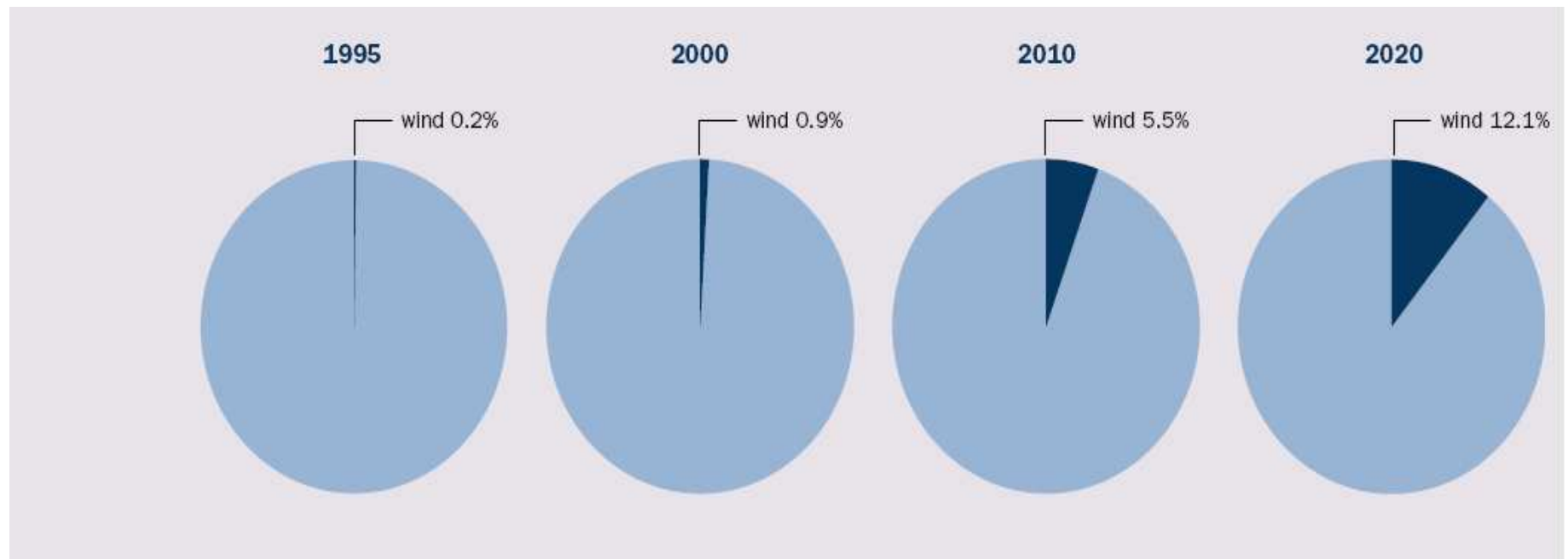
1 MW



5 MW



Contribution de l'énergie éolienne (TWh) à la production d'électricité en Europe



	1995	2000	2010	2020
Total Electricity Generation (TWh)	2,327	2,572	3,064	3,511
Wind Electricity Generation (TWh)	4.1	22.4	168	425
Share of Wind (%)	0.2%	0.9%	5.5%	12.1%

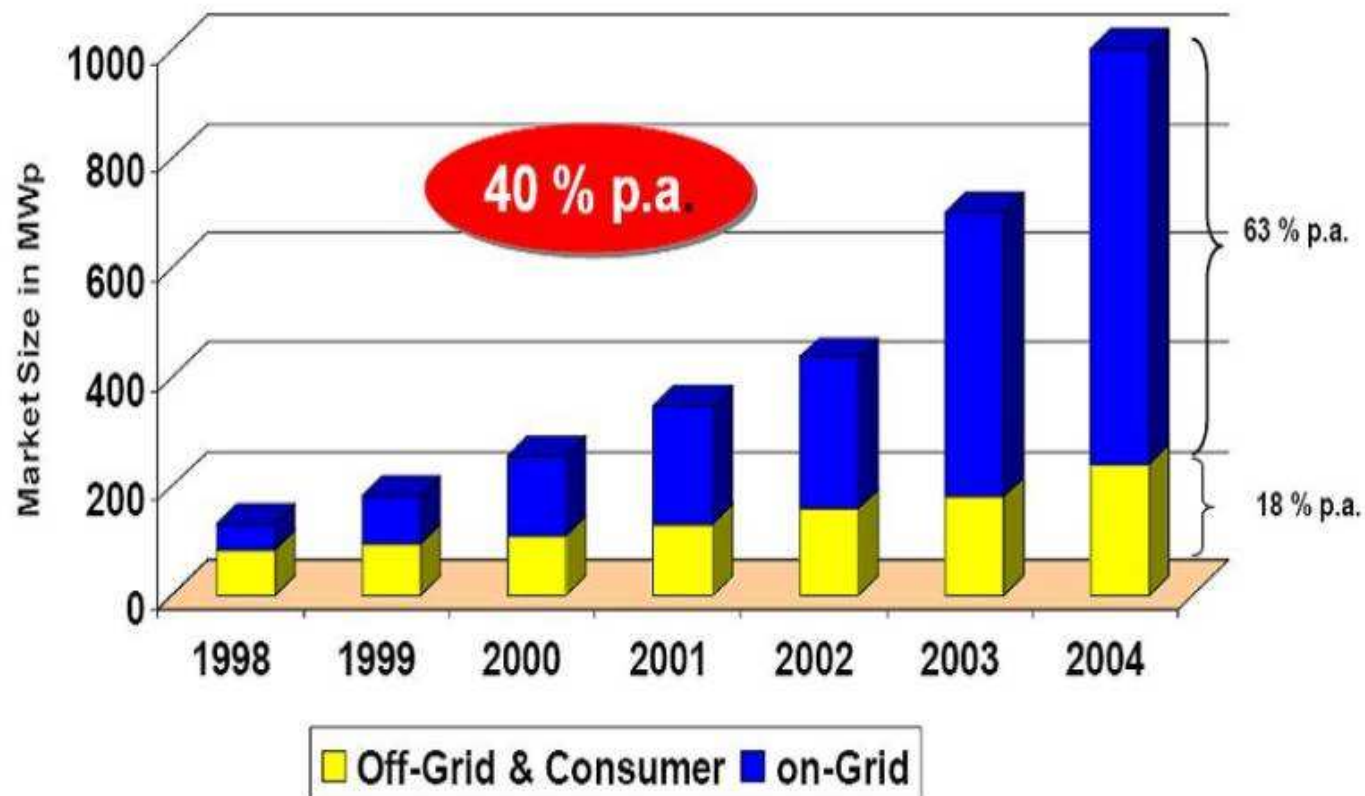


L 'éolien en France

- Objectifs : 10 GW à 2010 (onshore et offshore)
- Mise en place de ZDE
- AREVA s'investit dans l'éolien, avec quelques difficultés...
- Coût de rachat du kWh par EDF : 8.38 c€ pour 5ans
puis compris entre 8.38 et 3.05 c
- Un constructeur français de machines : VERGNET S.A.
Puissance de 15 à 200 kW

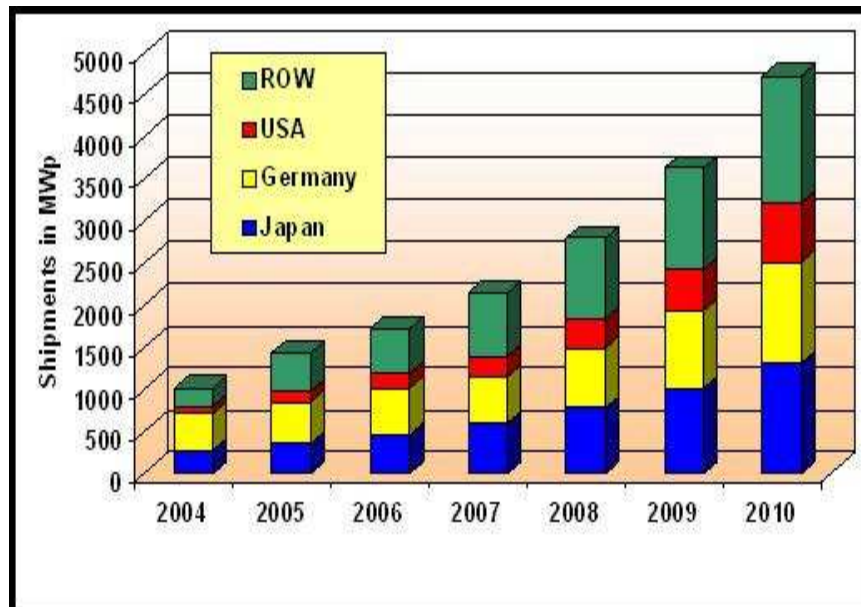
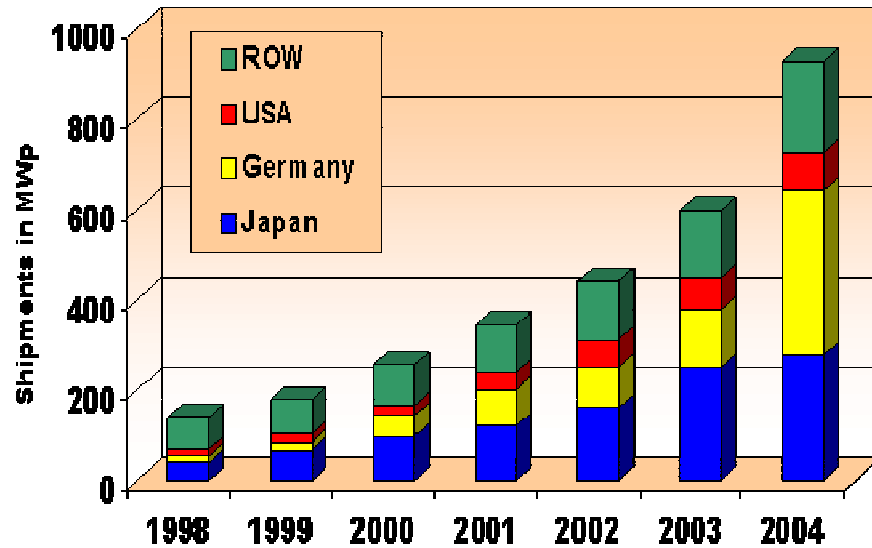


Evolution du marché photovoltaïque selon les applications





Développement du marché PV



- Croissance moyenne du marché PV : 33% par an
- Puissance installée en EU : 78% de l'ensemble
- Approvisionnement du marché : JPN (47%), EU (25%), USA (19%)
- Total 2005 : 1 300 MWp
- Prévu 2010: 4 500MWp
- Prévu 2020 : 33 GWp
- Prévu 2030 : 300 GWp



Nouvelles installations en Allemagne

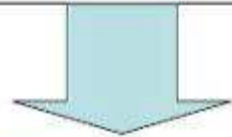




Le programme de support le plus efficace

Allemagne : loi du 01/01/2004

Feed-in tariff



Advantages :

- Focus of customers will be on product quality and performance of the systems for a long period of time
- Investors confidence secured
(attractive rate of return for investors)
- Does not a burden on public funds
- No Bureacratic constraints
- Appropriate Tool to stimulate Industrial Investment

Puissance	< 30 kW	> 30 kW
Indépendant	43,4 c€/kWh	43,4 c€/kWh
En toiture	59,0 c€/kWh	55,0 c€/kWh
Façade	64,0 c€/kWh	60,0 c€/kWh

France depuis 10/07/2006

Puissance	Continent	Iles
Indépendant	30 c€/kWh	40 c€/kWh
intégré en toiture	55c€/kWh	55 c€/kWh
Façade	55c€/kWh	55 c€/kWh



Eligible en toiture





Eligible en toiture





Eligibles en façade





Eligibles en façade





Eligibles en façade



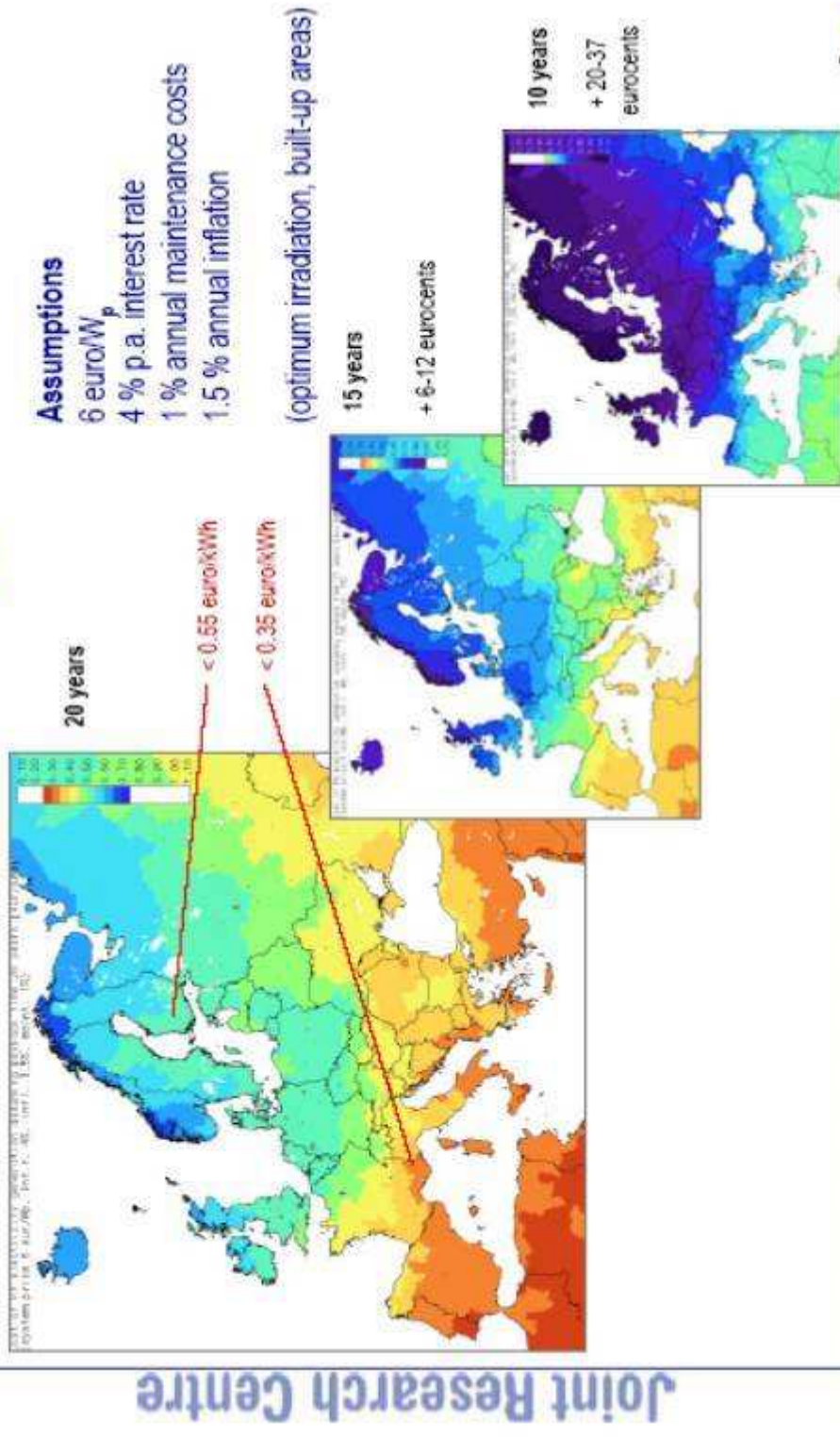


Non éligibles

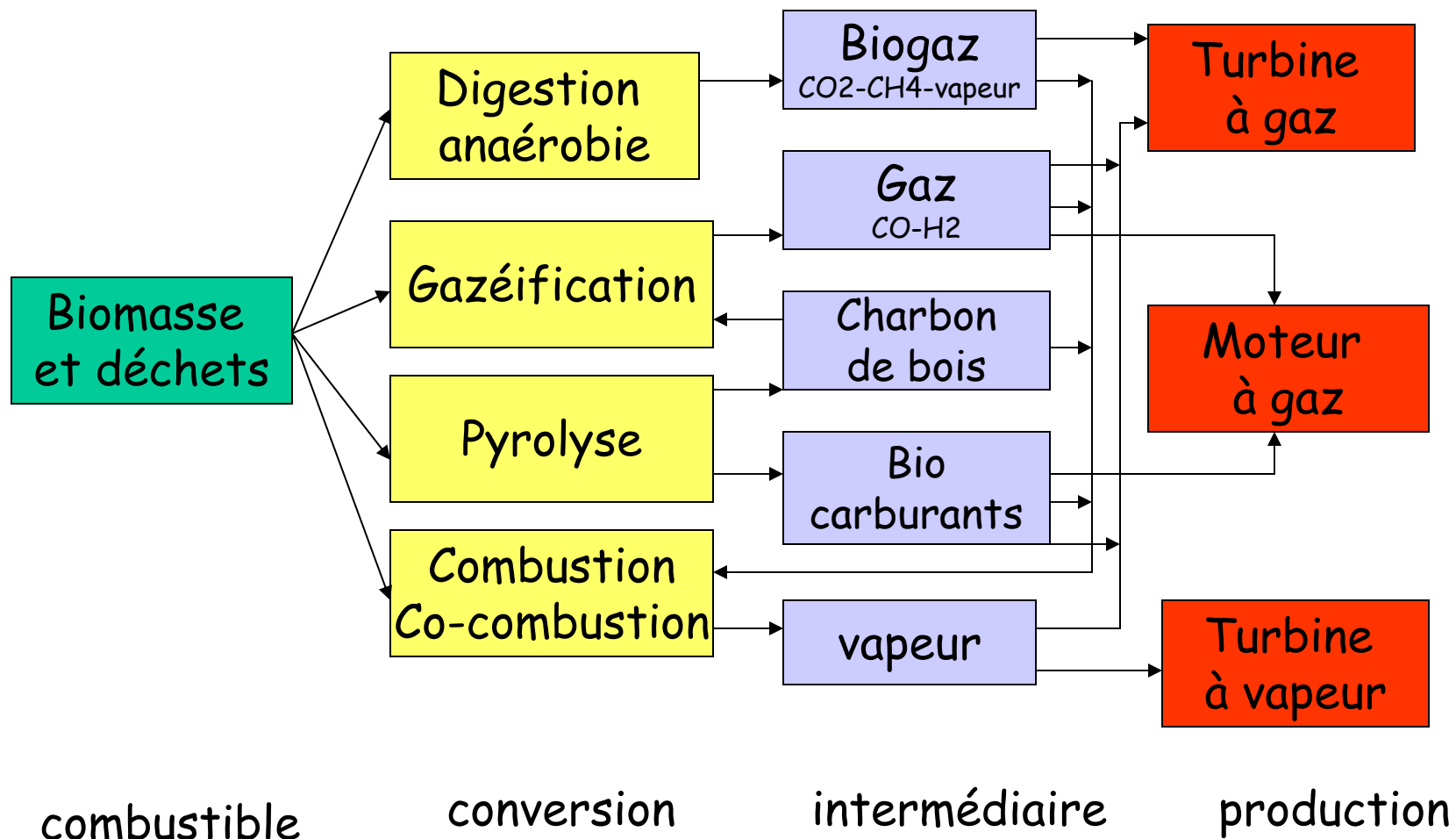




Costs of PV electricity generation



Filières de production d'électricité à partir de la biomasse



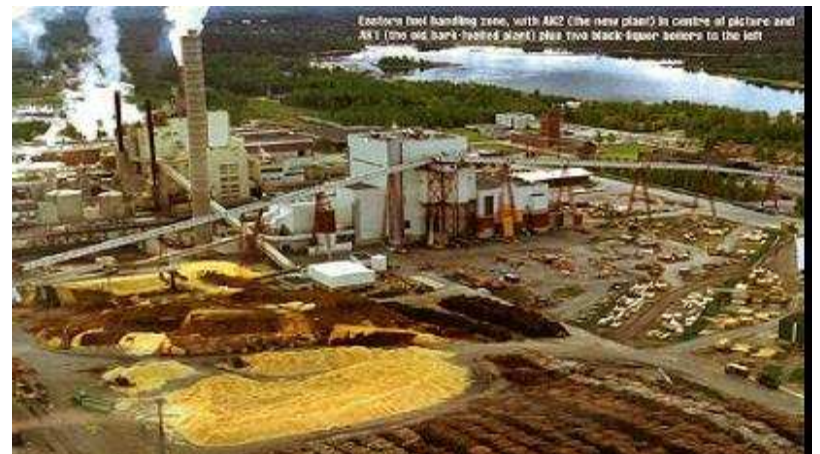
La co-combustion

Mélange de biomasse avec le combustible principal d'une centrale existante

- Investissement très faible
- Bon rendement de conversion
- Effet favorable sur les émissions (Nox, CO, poussières)

Mais:

- 5 à 10% de biomasse maximum
- Faible flexibilité sur la biomasse utilisée



**Co-combustion tourbe/bois
Ahlholmens (FIN) 240 MWe**



Combustion

Biomasse solide : bois (forêt, déchets), paille et autres résidus agricoles

Chaudières (à grille, à lit fluidisé) adaptée à la puissance de l'installation et au combustible retenu

- Rdt électrique modéré : 15% (2MWe) à 25% (20MWe)
 - Turbine de petite taille (rdt modeste)
 - Cycle thermodynamique peu sophistiqué
- Rdt global cogénération élevé : 75 to 90%
- Ratio chaleur/électricité élevé
- Coûts d'invnt variables selon la biomasse et les exigences de traitement des fumées
 - 5 MWe : 3000- 3500 €/kW
 - 50 MWe : 2000 – 2500 €/kW





Méthanisation

- Dégradation anaérobie de la matière organiquesous l'action de micro-organismes en l'absence d'O₂
- Substrats:
 - Déchets verts
 - Déchets de restauration
 - Déchets agricoles
 - Boues d'épuration
 - Fractions fermentescibles des déchets ménagers
- Rdt global modeste : 15%
- Production de compost, valorisable comme amendement
- Alternative à l'incinération des OM

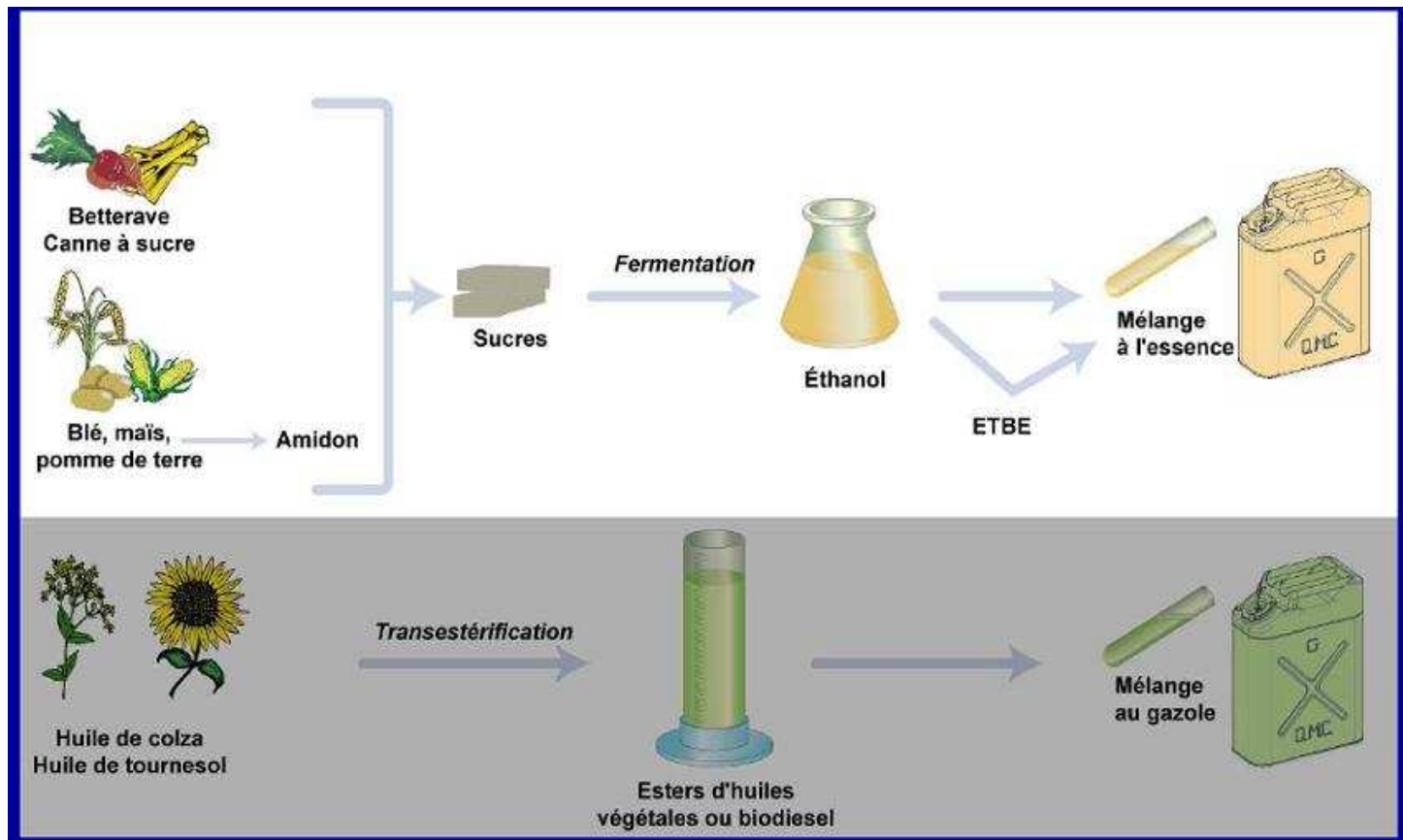


Souilly power plant (11MWe)





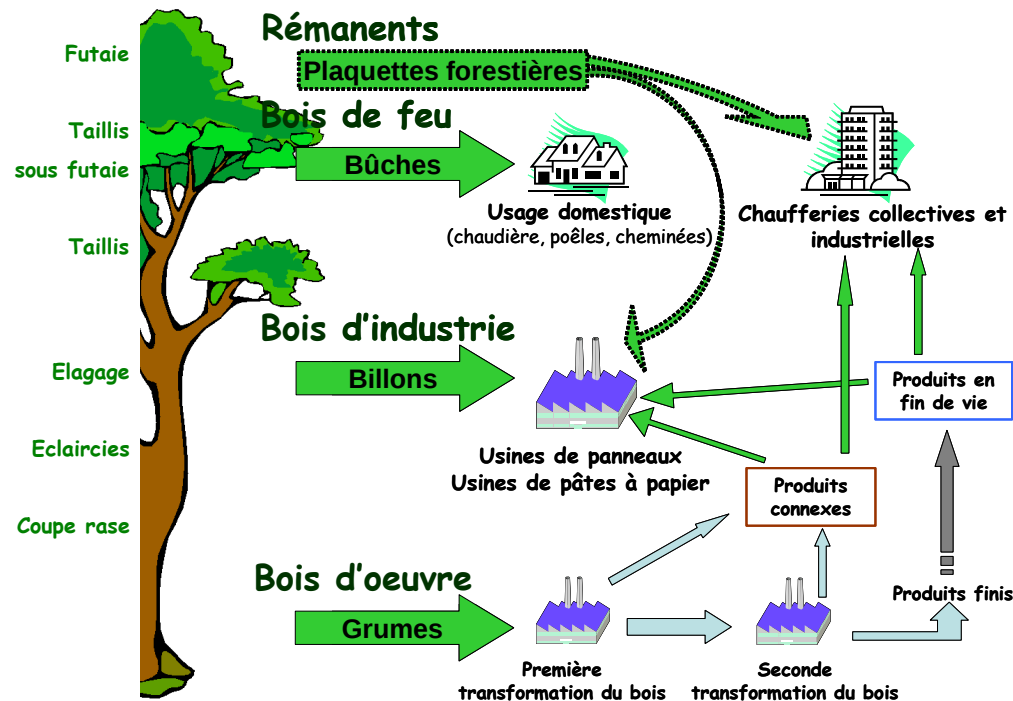
Carburants à partir de biocombustibles





Utilisation actuelle et future de la filière bois

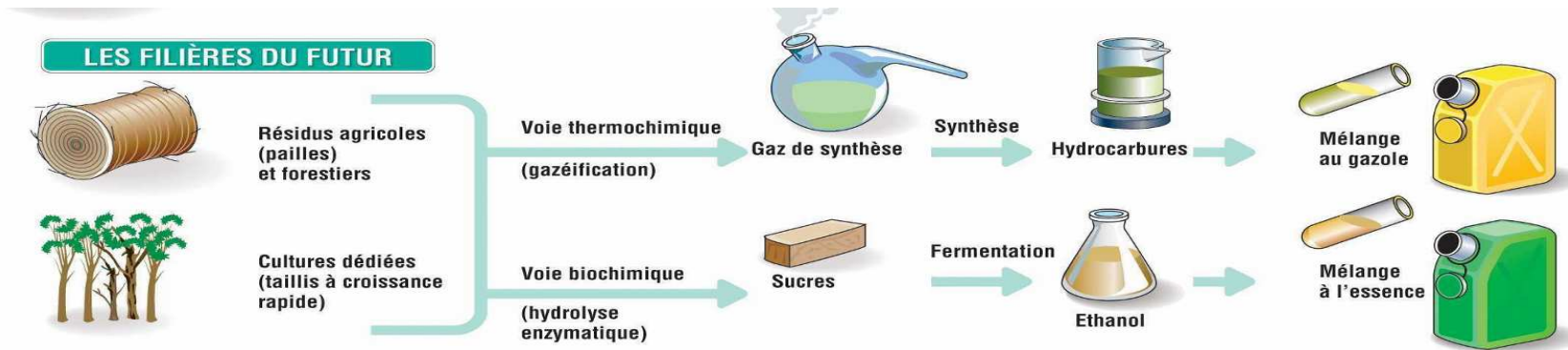
- L'exploitation de la forêt fournit du bois d'œuvre (scieries) et alimente l'industrie de trituration (pâte à papier, panneaux) pour 10 Mt/a :
 - le bois énergie est aujourd'hui très minoritaire (<200 kt/a)
 - le recyclage alimente les usines de panneaux, ou les chaufferies



Utilisation actuelle et future de la filière bois

- D'autres filières de valorisation sont en phase initiale d'expérimentation

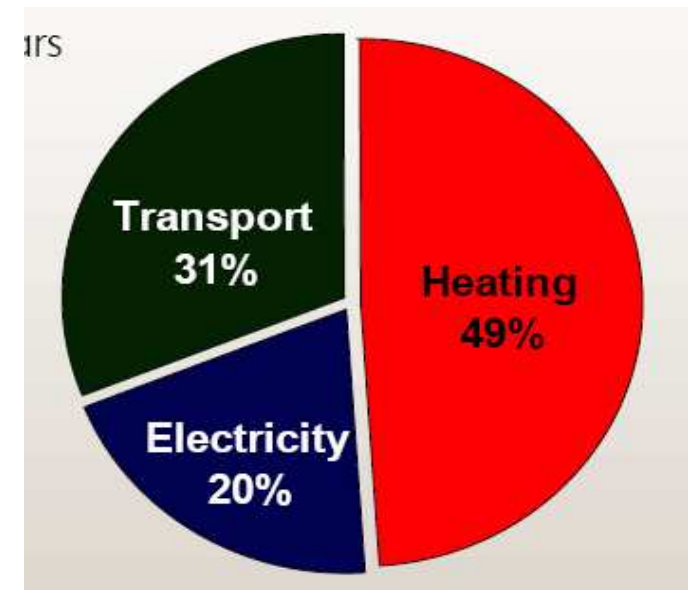
Pâte à papier ou biocarburants de 2^{ème} génération (risque de concurrence future)



- Production de biocarburants à partir de résidus agricoles et forestiers, de cultures dédiées et de déchets organiques
- Coût des matières premières faible,
- Pas de compétition avec la filière alimentaire, MAIS avec les usages combustibles (chaleur/électricité) ou matières premières

Solaire thermique: la situation actuelle

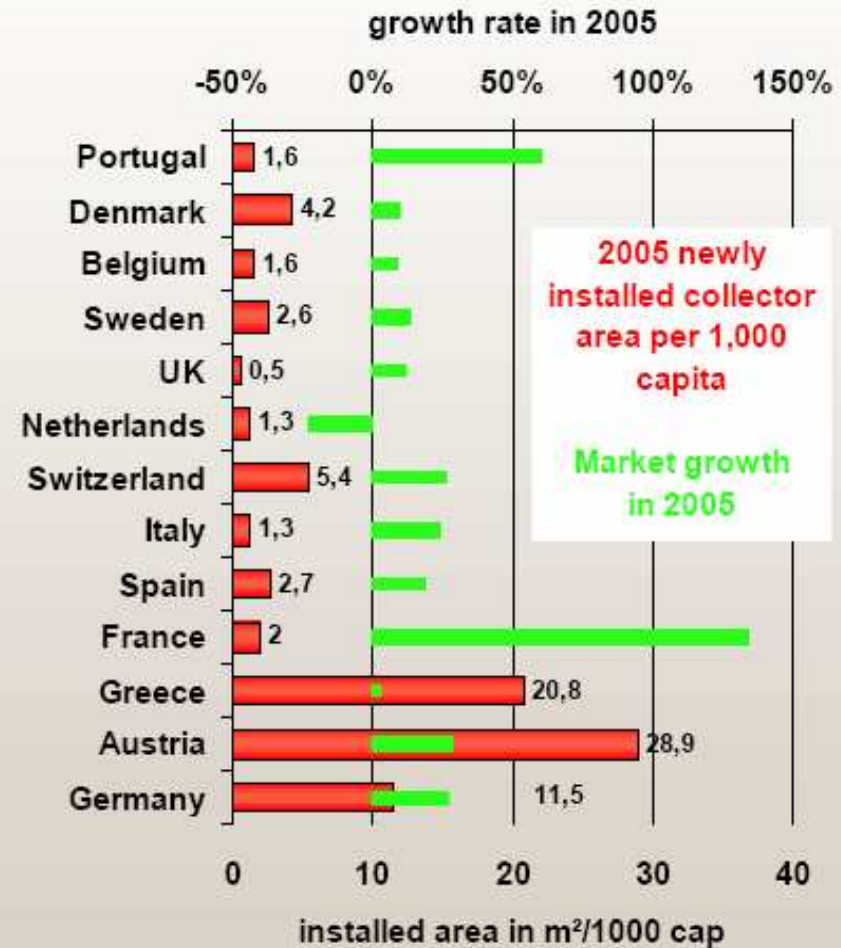
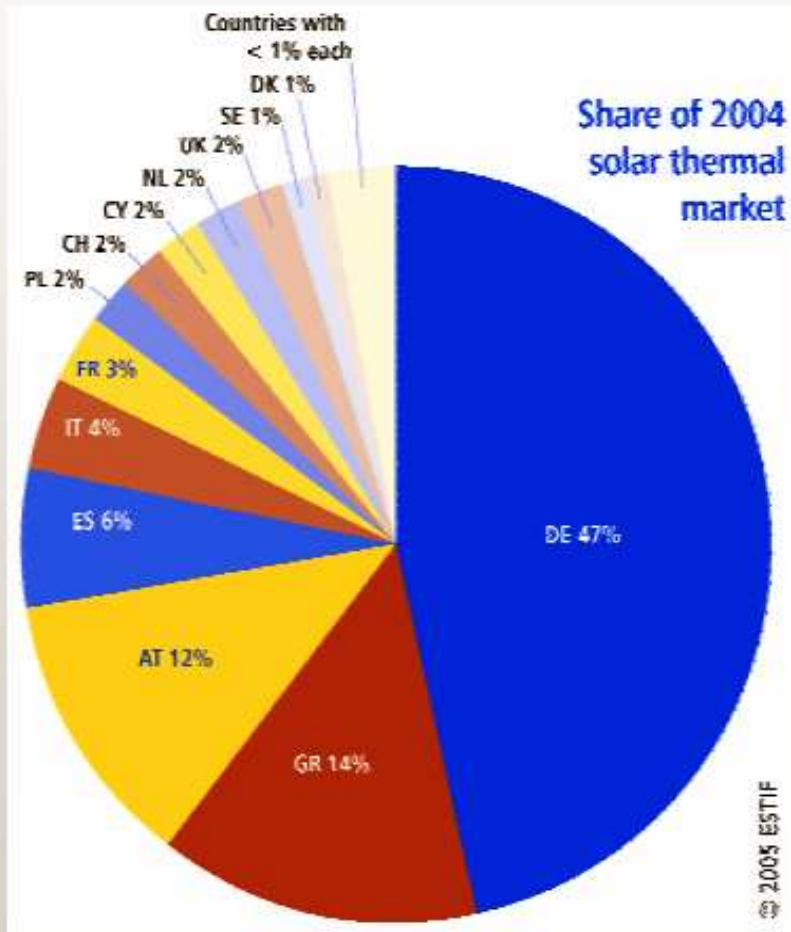
- Solaire thermique utilisé depuis 30 ans
- Technologie mature
- Le marché croît dans la plupart des pays européens
- Le potentiel existe : environ 40% de l'énergie primaire est consommée sous forme de chaleur à $T < 250^{\circ}\text{C}$



Répartition de l'énergie primaire par secteur dans l'EU25



Marché des capteurs en Europe 2004/2005



Source: ESTIF

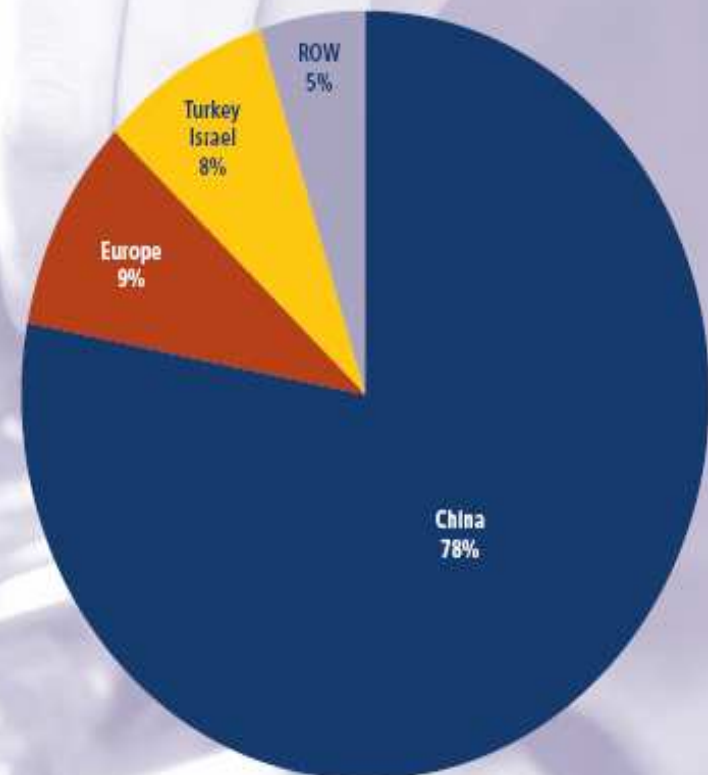
Capacité installée en 2004 dans le monde

EU LEADING IN TECHNOLOGY BUT NOT IN MARKET

In most renewable energy technologies, the EU is the leading market worldwide. And market leadership means technology leadership.

In solar thermal, Europe is leading in most technological areas. However, the EU still holds only a small fraction of the world market. China dominates the world market, with annual domestic sales of well over 10 millions m² (7GW_{th}). In Israel and Japan the share of solar thermal per inhabitant is much larger than in Europe.

Solar thermal is a future oriented technology. In the next decade, the global solar thermal market will develop to new dimensions. If Europe wants to keep and extend its technological strength in this area, the domestic European market must grow throughout the Union.



Distribution
of Solar Thermal
Market World Wide

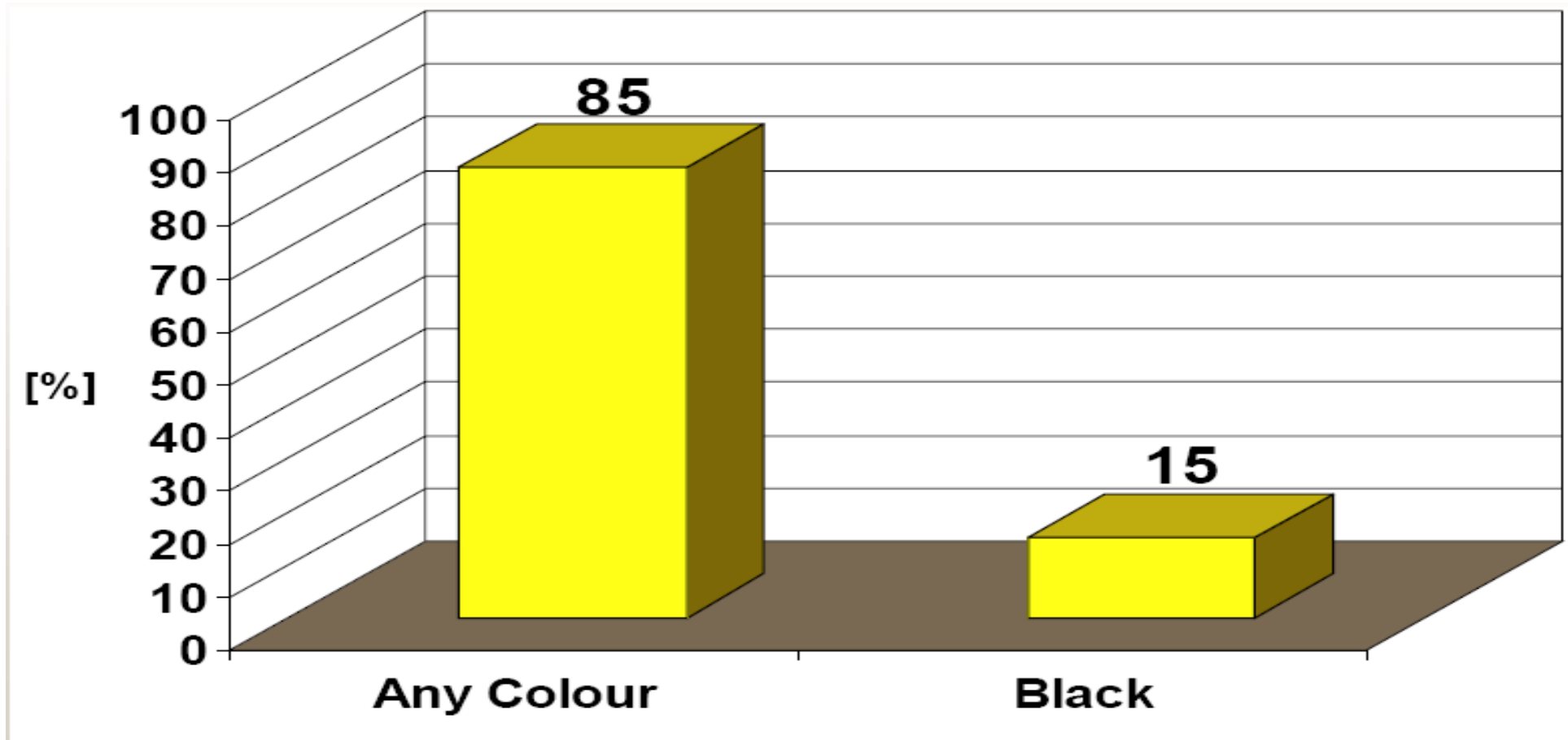








Etude réalisée parmi les architectes







and...

...create 25,000 new jobs





Possibilité de création d'emplois

	2010	2020
Eolien	184,000	318,000
PV	30,000	245,000
Biomasse	338,000	528,000
Bio carburants	424,000	614,000
Petite hydro	15,000	28,000
Geothermie	6,000	10,000
Solaire thermique	70,000	280,000
TOTAL EnR	1,067,000	2,023,000



Conclusions

- Eolien : Objectifs 2020 nécessiteront l'implantation d'outils de prédiction de la production à grande échelle a des fins de planification des moyens de production
Limitation du taux de croissance dont une part correspondra au remplacement d'éoliennes d'ancienne génération.
- Solaire : Aucune limitation prévisible à cet horizon
- Biomasse : contraintes sur la ressource
 - Consolider la collecte
 - Gérer la pression sur les coûts
 - Sélectionner les bonnes filières
- Développer d'autres technologies (marines, stockage,...)