

Evolution technologiques dans l'éolien

**Robert BELLINI, ADEME
Service Réseaux et Energies Renouvelables**

Club PLUi, 16 octobre 2015



Éléments d'évolution technologique

- Caractéristiques physiques des générations de machines
- Facteur de charge

Éléments de prospective énergétique

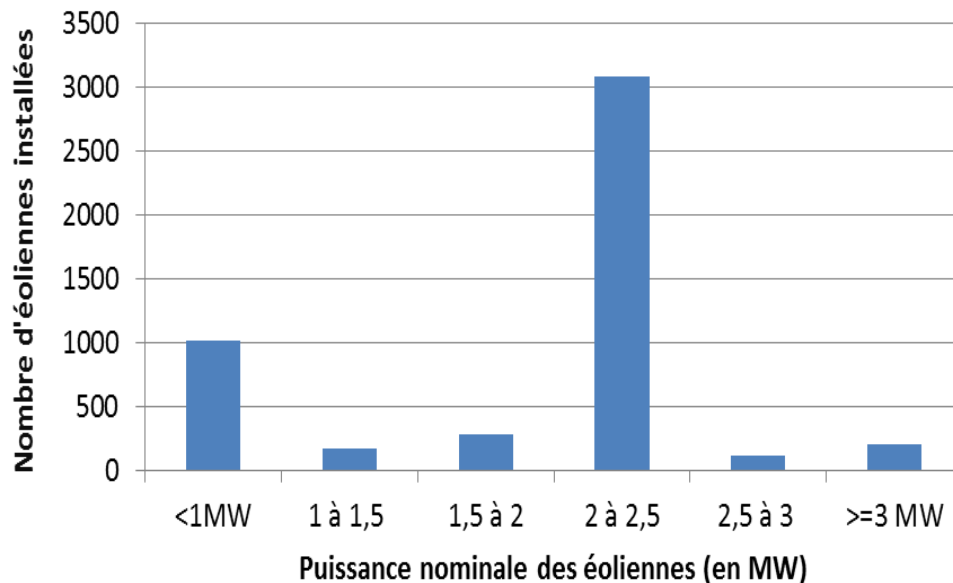
- Compétitivité de la filière
- Intégration dans le paysage énergétique



1. Quelles sont les tendances ?
2. Y a-t-il des indicateurs ou des invariants ?
3. Pourquoi privilégier certaines typologies d'éoliennes ?

1 – Panorama du parc français

Répartition des éoliennes installées, par gamme de puissance (en début 2014)



Source : Observ'ER

→ Environ 5 000 éoliennes pour une moyenne de la puissance unitaire à 1,8 MW

→ Sur les 4 dernières années, la puissance unitaire moyenne installée est de 2,1 MW.

→ Typologie :
 70% sont à boîte de vitesse et génératrice asynchrone
 27% sont à entraînement direct sans aimant permanent
 2,5% ont des aimants permanents

► Parc français relativement homogène

Questions :

Quel lien entre la taille des éoliennes (diamètre du rotor, hauteur du mât) et la puissance ?

Comment caractériser les machines qui effectuent la conversion de puissance (vent → électricité) ?

Il existe un paramètre de forme : la surface spécifique S_u , indicateur de **captage de la ressource**

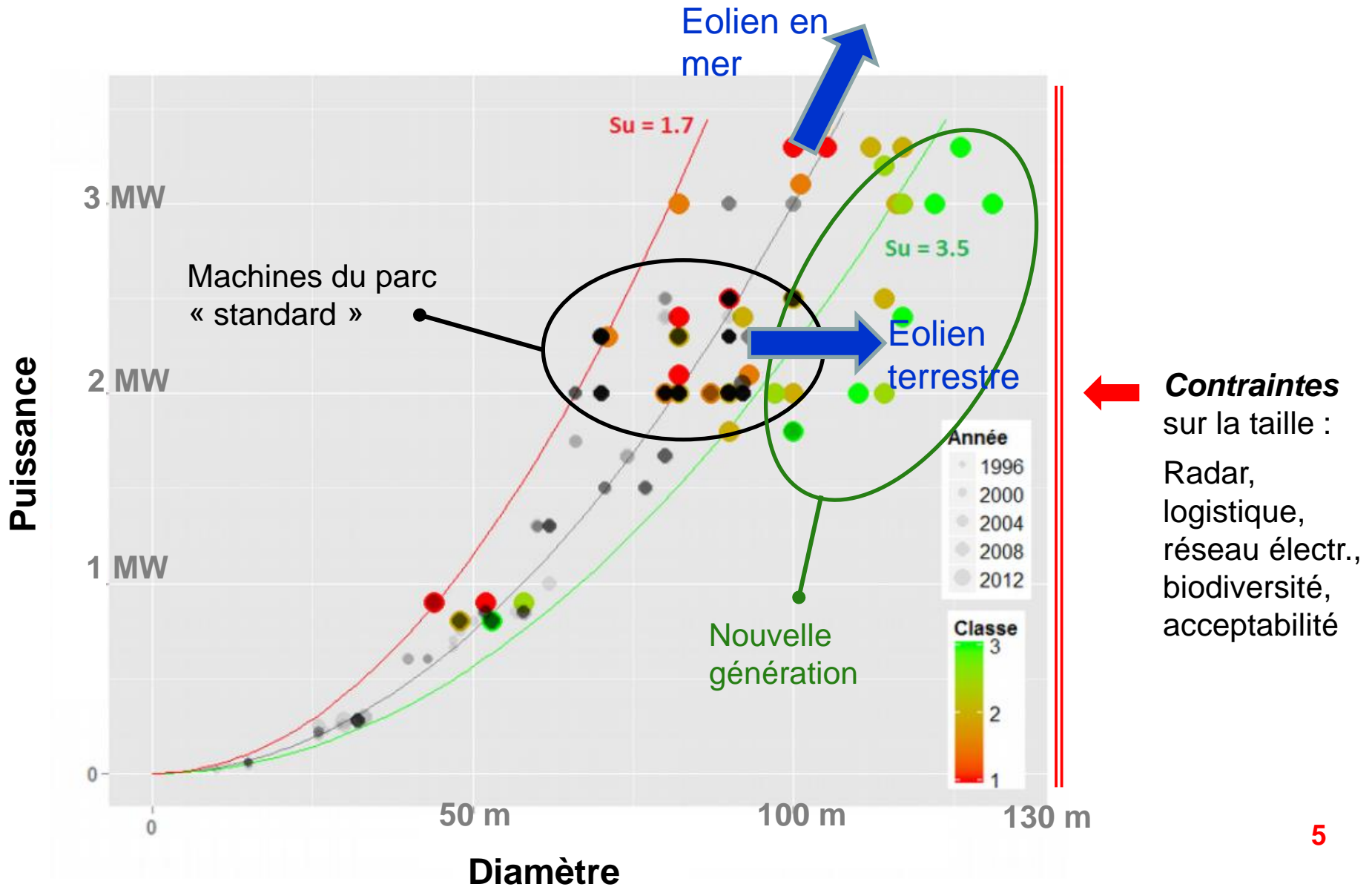
$$S_u = \frac{\text{Surface balayée}}{\text{Puissance nominale}} = \frac{\pi (d_{\text{rotor}}/2)^2}{P_{\text{nom}}} \propto \frac{d_{\text{rotor}}^2}{P_{\text{nom}}}$$

Eolienne standard
(2,5m²/kW)

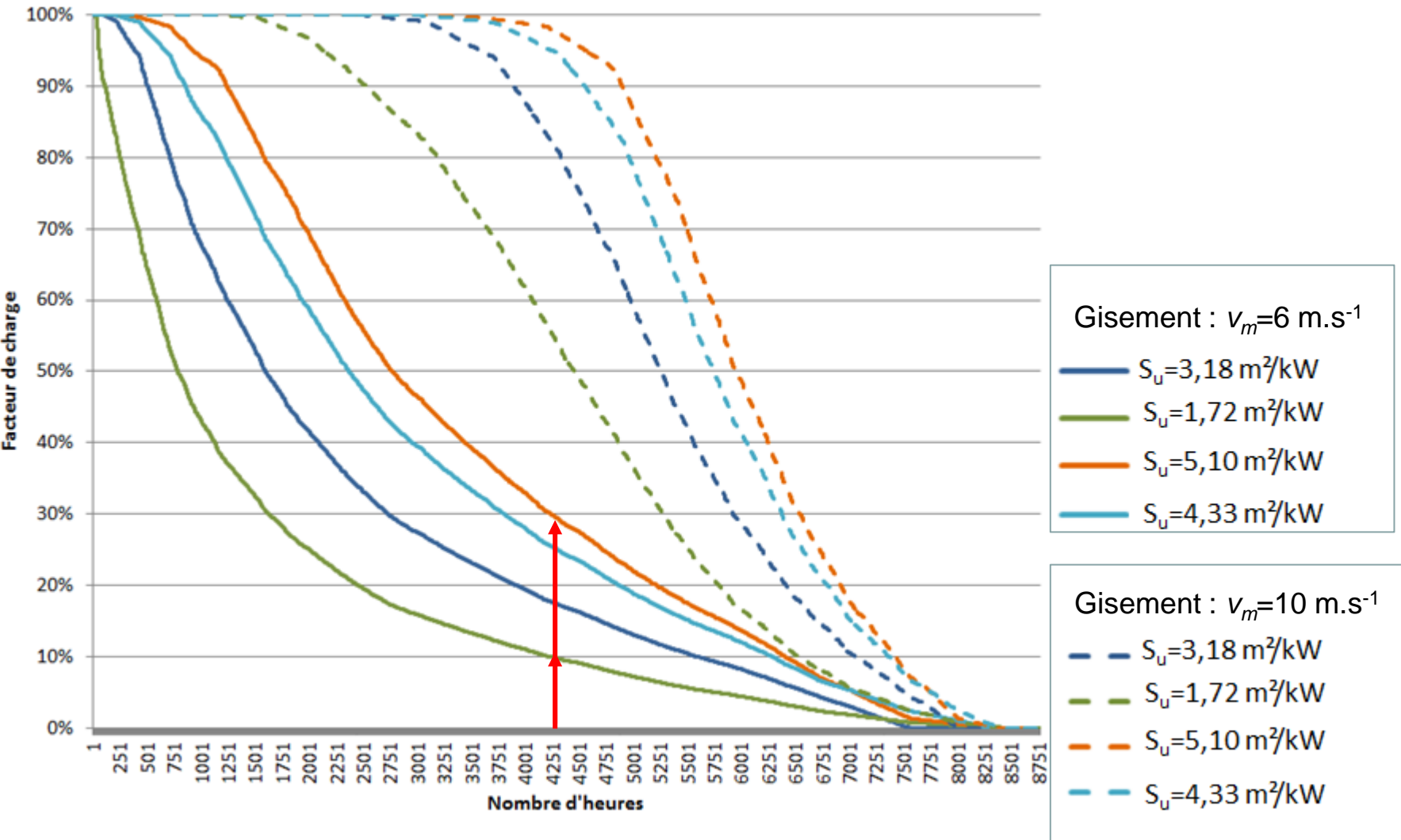


Eolienne toilée
(6m²/kW)

Parc français :
machines entre 1,7 m²/kW et 3,5 m²/kW



Nouvelles générations : augmentation du Nh et diminution de la variabilité



- ➔ Evolution attendue : plutôt en termes d'augmentation de S_u
 - Pour équiper les sites de classe II et III
 - Pour augmenter l'intégration système électrique
 - Pour diminuer le coût en €/MWh produit
 - Pour diminuer la densité :
 - 8 MW /km² pour éoliennes standard ($S_u \sim 3-3,5 \text{ m}^2/\text{kW}$)
 - 5,3 MW / km² pour éoliennes toilées ($S_u \sim 4,5 \text{ m}^2/\text{kW}$)
- Point d'attention sur la bonne adéquation du système de rémunération
- ➔ Innovations technologiques liées à l'augmentation de S_u :
 - Conception aérodynamique et contrôle des pales (la vitesse de vent peut changer entre le bas et le haut des pales)
 - Logistique de transport
 - Mâts de grande hauteur
 - Diminution du poids des pales

Idées :

- Répondre à une demande des particuliers (intérêt pour les EnR, investissement)
- Favoriser la percolation de la production diffuse (décentralisation de l'énergie)

L'éolien pour les particuliers

1

Participe à la production

→ secteur du petit éolien

→ modalité : autoconsommation

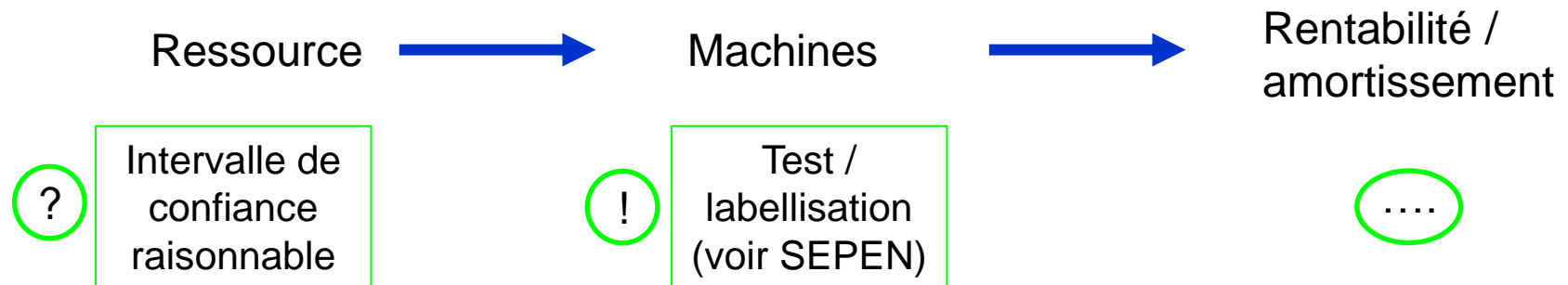
2

Participe au financement

→ financement participatif

→ gouvernance

1 Le petit éolien

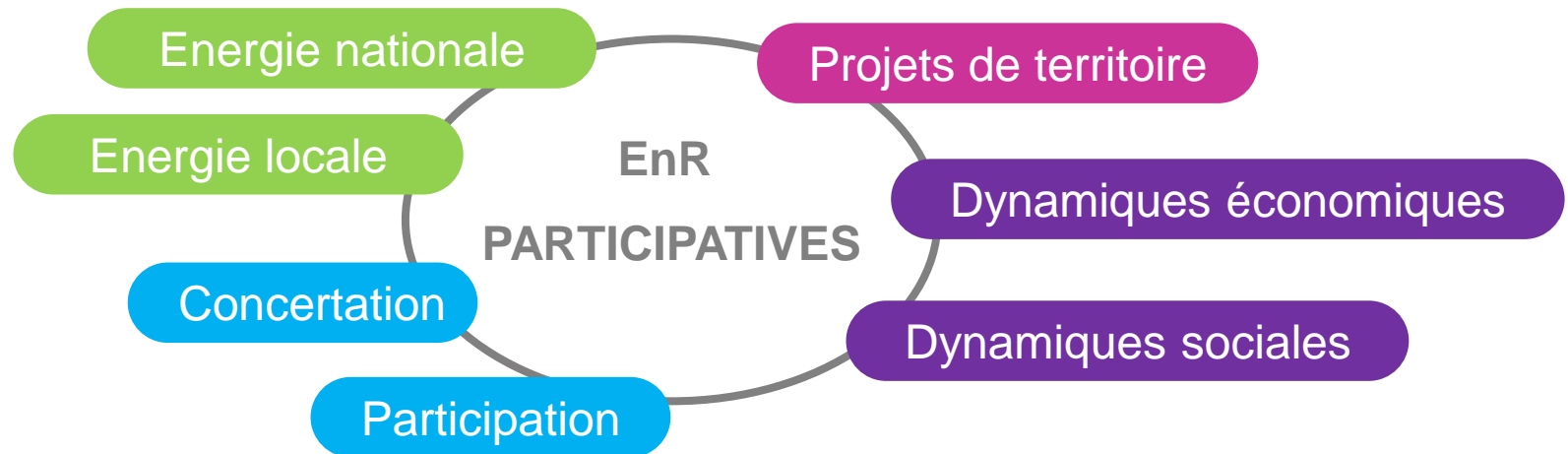


- Production diffuse d'électricité renouvelable s'éloignant des grands équilibres offre-demande d'électricité
→ Schéma privilégié : autoconsommation
- Cibles privilégiées : secteur agricole, zones non connectées au réseau

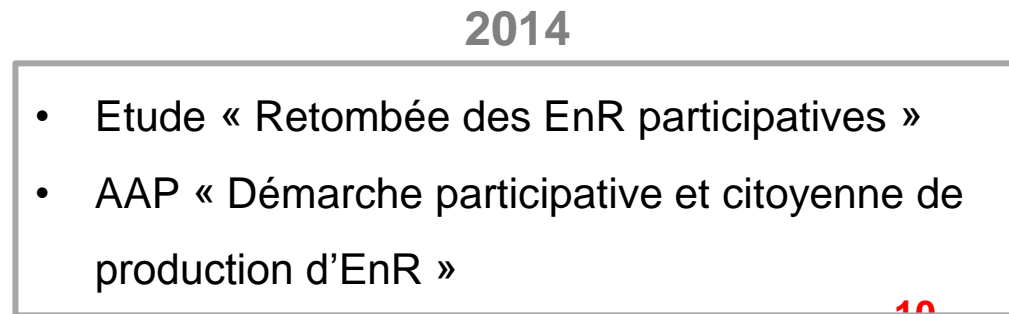
Voir l'avis ADEME sur le petit éolien : <http://www.ademe.fr/petit-eolien>

2 Le financement participatif : Participation citoyenne et publique à un projet identifié

- Des valeurs ajoutées



- Des initiatives



Destination : Autoconsommation dans les territoires locaux

Moyens : Levier du reconditionnement d'éoliennes ?

Organisation :

- Association à des coopératives agricoles, des PME ou des citoyens d'un territoire rural
- Hybridation, stockage et pilotage « complexe »

➔ Marché d'intérêt, pour son dimensionnement technico-économique
Pour l'instant, positionnement intermédiaire sans cadre adapté

Pour plus d'informations :

- **Les annexes**
- **Les questions à suivre !**

Merci de votre attention !



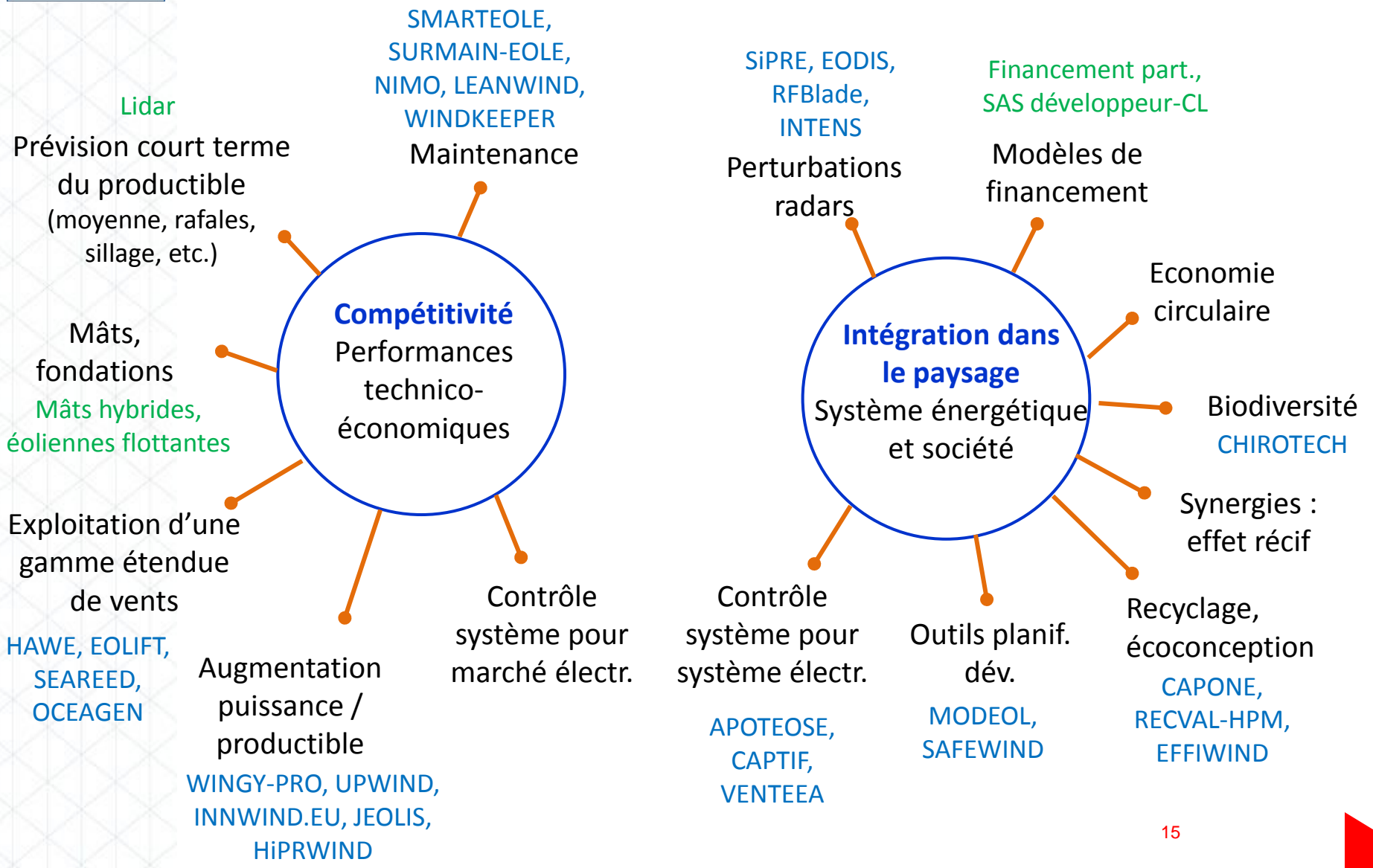
ANNEXES

—

Documents et liens utiles

**Panorama (liste non exhaustive) des projets R&D et
Investissements d'Avenir sur l'éolien**

- Guides « L'élu et l'éolien » (AMORCE – CLEO), mise à jour 2015
- Etude « Economie circulaire de l'éolien » (ADEME), 2015 (à paraître)
- Avis ADEME sur l'éolien :
<http://www.presse.ademe.fr/2013/11/petit-eolien-avis-ademe.html>
- Guide Grand Public sur l'énergie éolienne :
<http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-energie-eolienne.pdf>
- Rapport ADEME 100% EnR :
http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rapport100enr_comite.pdf
- Feuilles de route et appels à projets :
<http://www.ademe.fr/entreprises-monde-agricole/innover-developper/investissements-davenir>
<http://www.ademe.fr/grand-eolien-feuille-route-strategique>
- Bilan prévisionnel RTE :
<http://www.rte-france.com/fr/article/bilan-previsionnel>



Projets R&D Innovations technologiques en France avec soutien public (récents et en cours – non exhaustif)

- Ressource éolienne :
MODEOL (ADEME R&D 2012)
- Capteurs :
CAPTIF (ANR 2014)
- Fiabilité / maintenance des éoliennes :
SURMAIN-EOLE (CR Picardie), SMARTEOLE (ANR 2014)
- Signature radar :
SiPRE (ADEME R&D 2009), EODIS (ADEME R&D 2010), RFBlade (ADEME R&D 2010), INTENS (ADEME R&D 2014)
- Matériaux critiques :
ASTER (ANR Ecotech 2011), RECVAl-HPM (ANR 2013), CAPONE (ADEME R&D 2015)
- Systèmes électriques :
APOTEOSE (ANR 2012)
- Environnement :
CHIROTECH (ADEME R&D 2009)

(..) : principal organisme public financeur

- Ressource éolienne :
SAFEWIND (FP7)
- Génératrices :
WINGY-PRO (FP7), UPWIND (FP6)
- Nouvelles générations d'éoliennes :
HAWE (FP7), INNWIND.EU (FP7)
- Fiabilité / maintenance des éoliennes :
PROTEST (FP7), NIMO (FP7), LEANWIND (FP7)
- Systèmes d'éoliennes et parcs :
RELIAWIND (FP7), HiPRWIND, ORECCA (CA)
- Systèmes électriques :
OPTIMATE (FP7), TWENTIES (FP7), ANEMOS plus (FP6), REserviceS (IEE),
Market 4RES (IEE)
- Environnement :
GPWIND (ALTENER)
- Verrous non technologiques :
WIND Barriers (IIE), SEANERGY2020 (IEE), Beyond 2020 (ALTENER), WISE
Power (IEE)

Projets sur la thématique éolienne financés par l'ADEME dans le cadre des Investissements d'Avenir

AMI	Nom du projet	Objectifs
Grand Eolien	JEOLIS	Alternateurs hybrides >5MW
Grand Eolien	WINDPROCESS	Roulements grand diamètre pour éoliennes en mer
Grand Eolien	EFFIWIND	Pales en composites à base thermoplastiques
Grand Eolien	EOLIFT	Mâts en béton de grande hauteur
Grand Eolien	AOF	Industrialisation de la production d'éoliennes de grande puissance
Navires du futur	WINDKEEPER	Navire de maintenance pour les fermes éoliennes en mer
Navire du futur	NAVALIS	Navire de transport de personnels de maintenance pour les fermes éoliennes en mer
Energies marines	SEA REED	Eolienne flottante à axe horizontal
Energies marines	OCEAGEN	Systèmes d'ancrage pour éolien flottant
Smart Grids	VENTEEA	Conduite de réseau électrique avec forte insertion d'EnR