

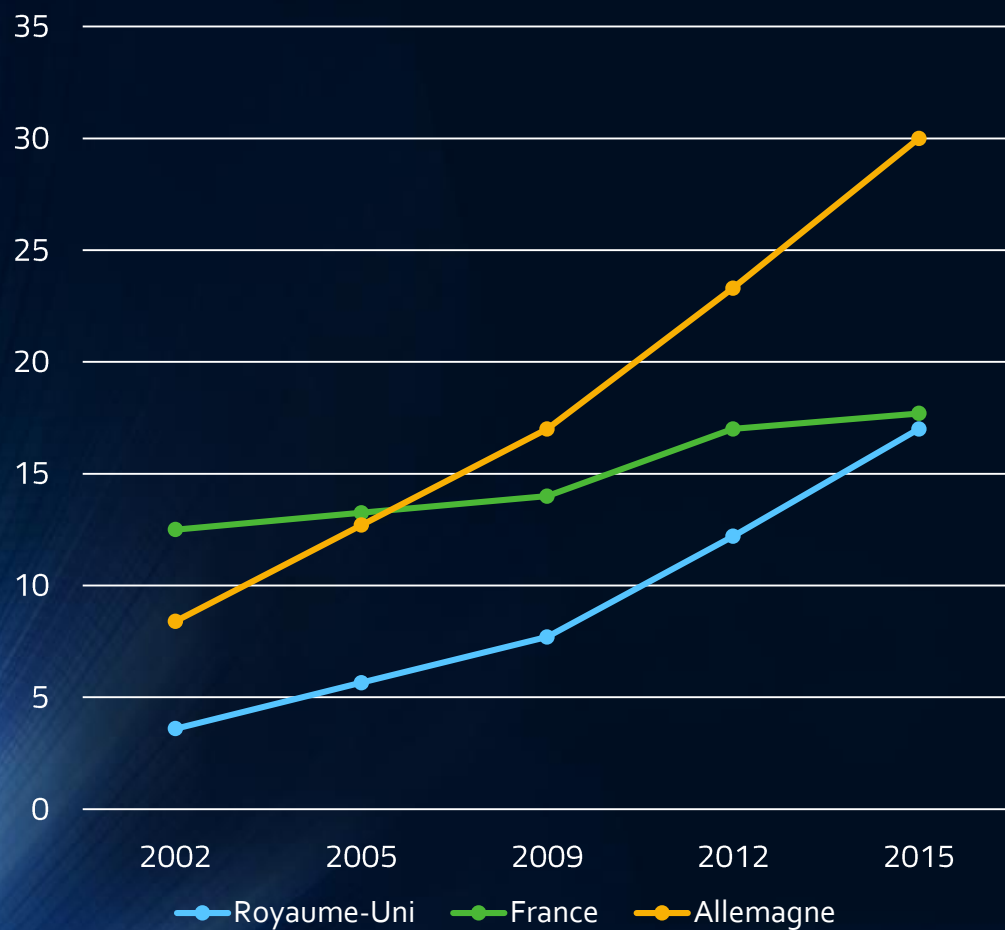


Présentation du concept EOLINK – Groupe de Recherche Eolien Offshore – 9 mars 2016

marc.guyot@eolink.fr

1.1 La transition énergétique est déjà là :

Part des renouvelables dans la production électrique (%)
Source 2002-2012 : Observ'ER



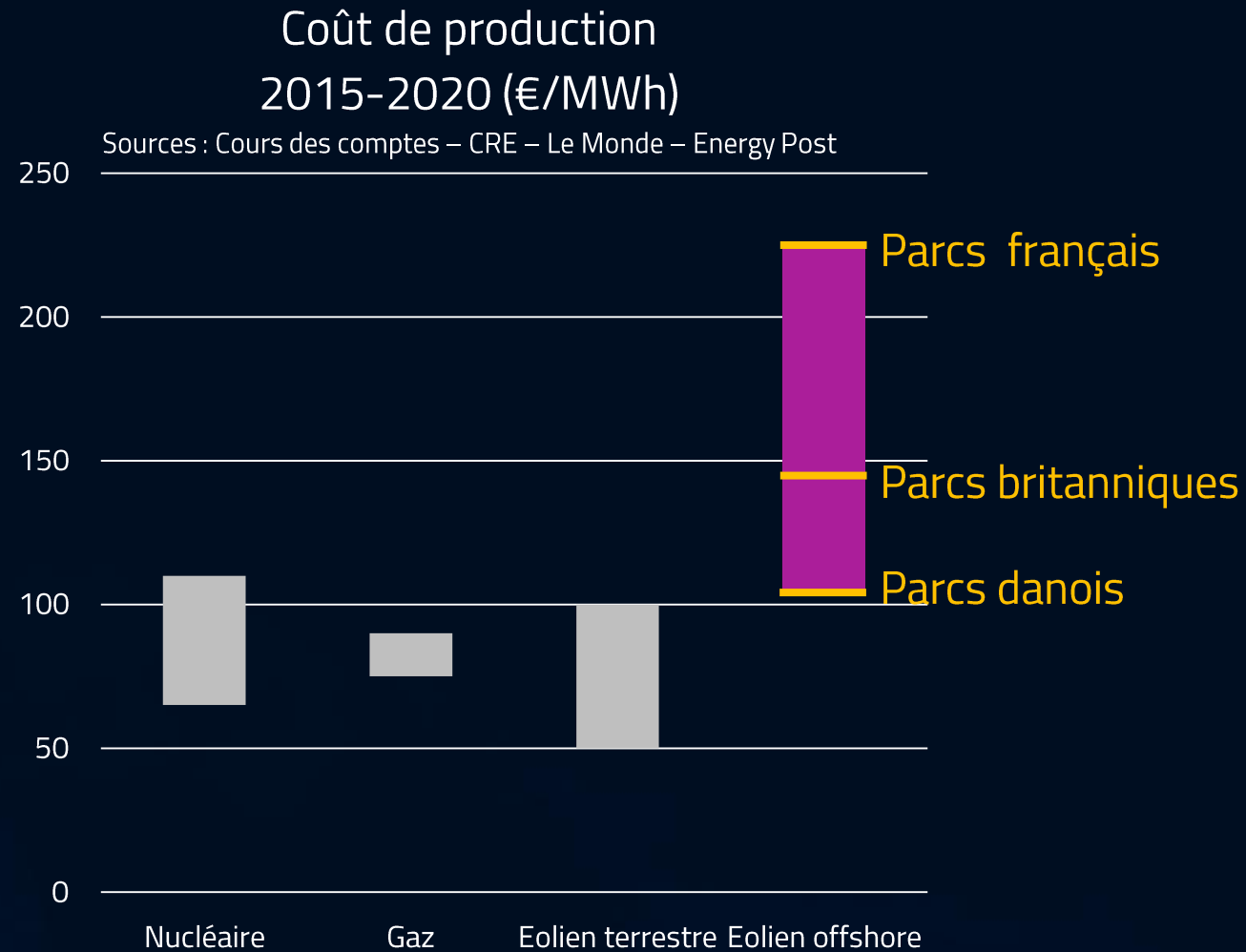
Allemagne :

- Objectif 90% ER en 2050
- Stabilité réseau OK (www.kombikraftwerk.de)

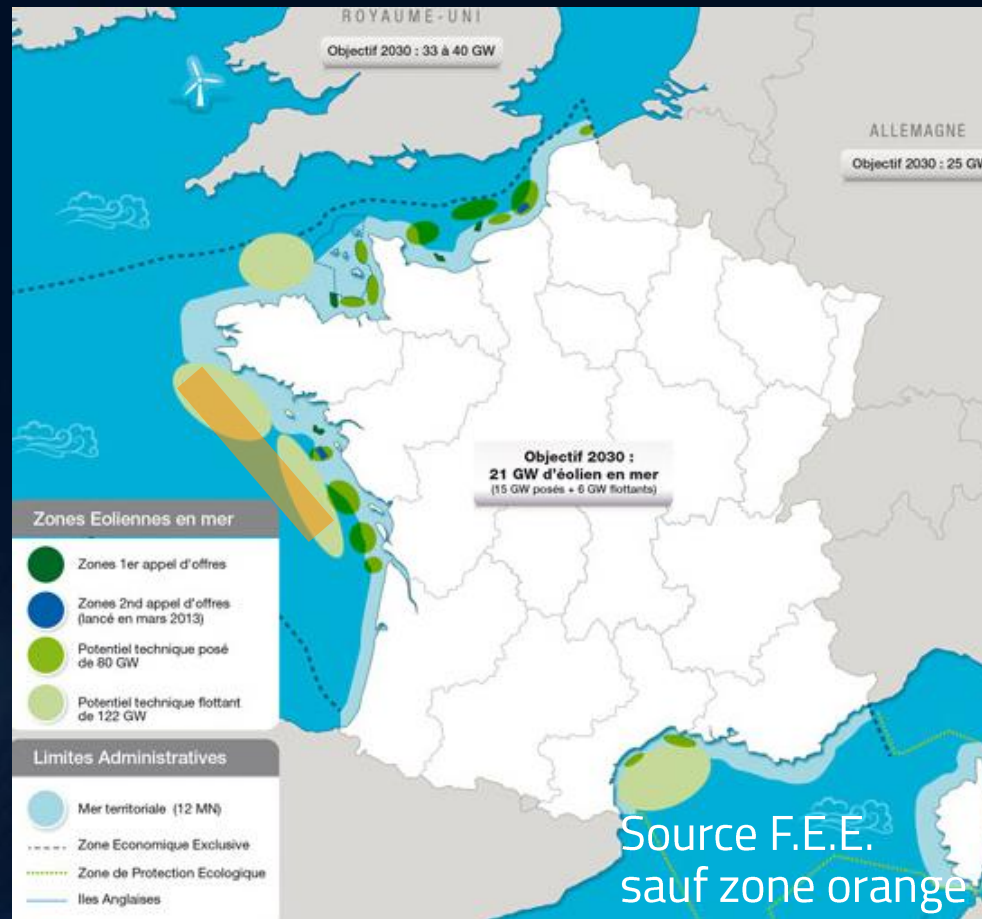
France : essentiellement hydro-électrique

UK : 5% de la production électrique est de l'éolien offshore

1.2 Eolien offshore : compétitivité croissante



1.3 Offshore flottant = Immense gisement



Zone orange : 300 x 50 km

- Densité 8 MW installés par km²
- Soit 120 GW
- $120 * 40\% * 365 * 24 > 400 \text{ TWh/an}$
- Pour rappel, production totale en France 2015 : 550 TWh

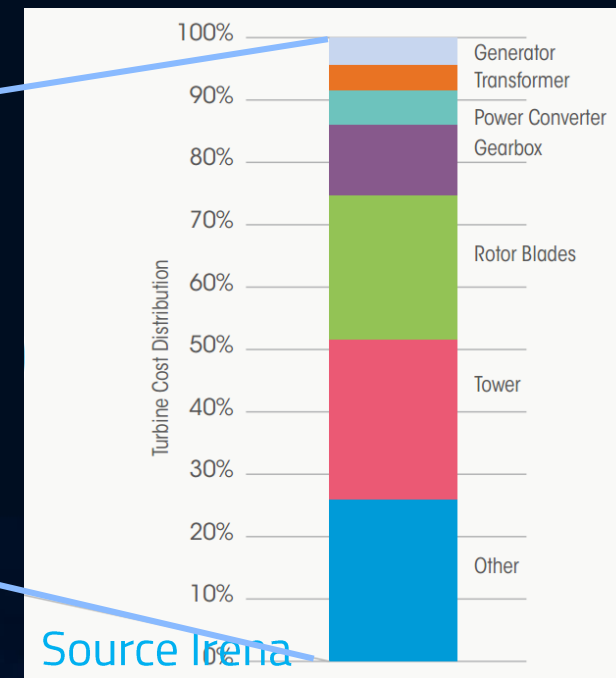
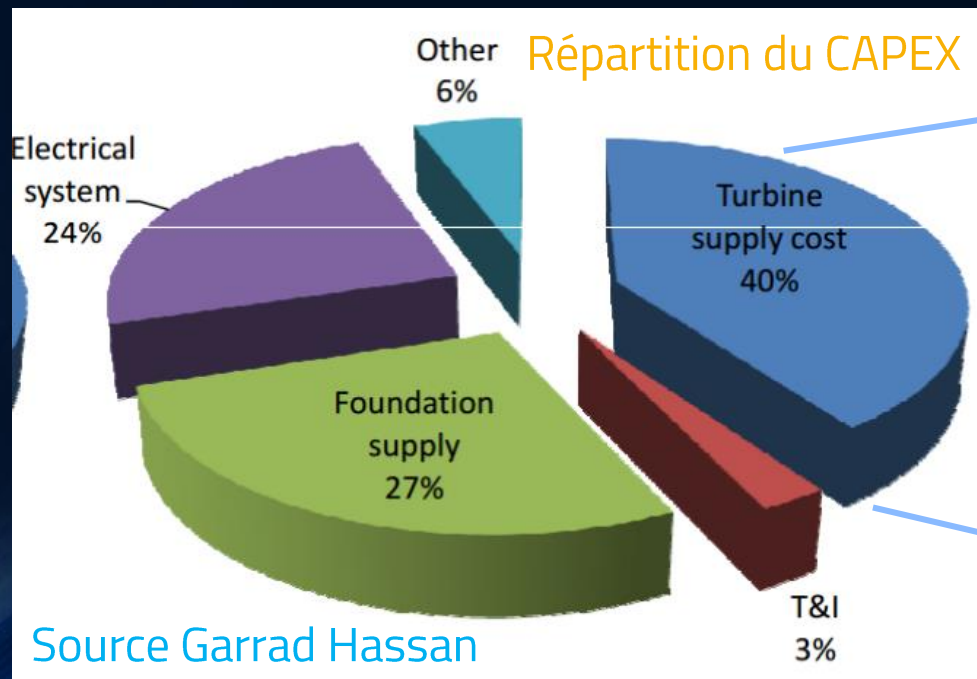
2.1 LCOE : coût de production de l'électricité

LCOE fonction de :

- **C**APital **E**Xpenditure (à amortir sur la durée de vie)
- **O**perational **E**Xpenditure (coût maintenance dont pannes)
- **A**nnual **E**nergy **P**roduction (rendement, disponibilité)
- Coût de l'argent (influencé par le risque)

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{I_t + M_t}{(I_0 + r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{E_t}{(I_0 + r)^t}} \quad \text{Source : Myhr et al. (2014)} \quad (1)$$

where I_t denotes investments at time t ; M_t denotes operation and maintenance costs at time t ; E_t denotes energy generation at time t ; r denotes the evaluation discount rate; t denotes the time, ranging from zero to n .



2.2 Cibles pour abaisser le LCOE

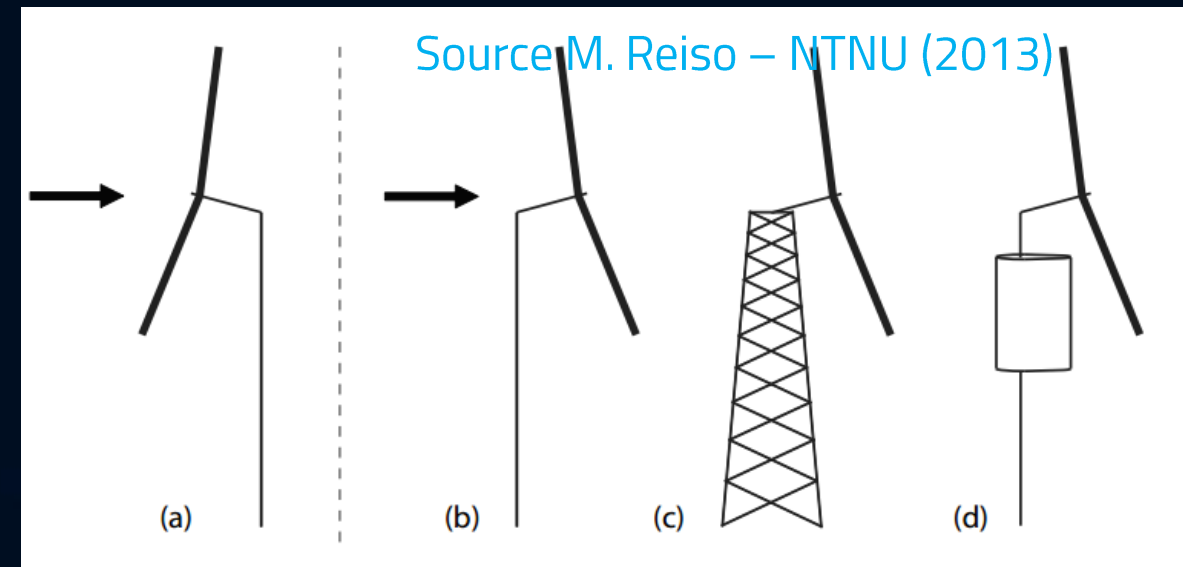
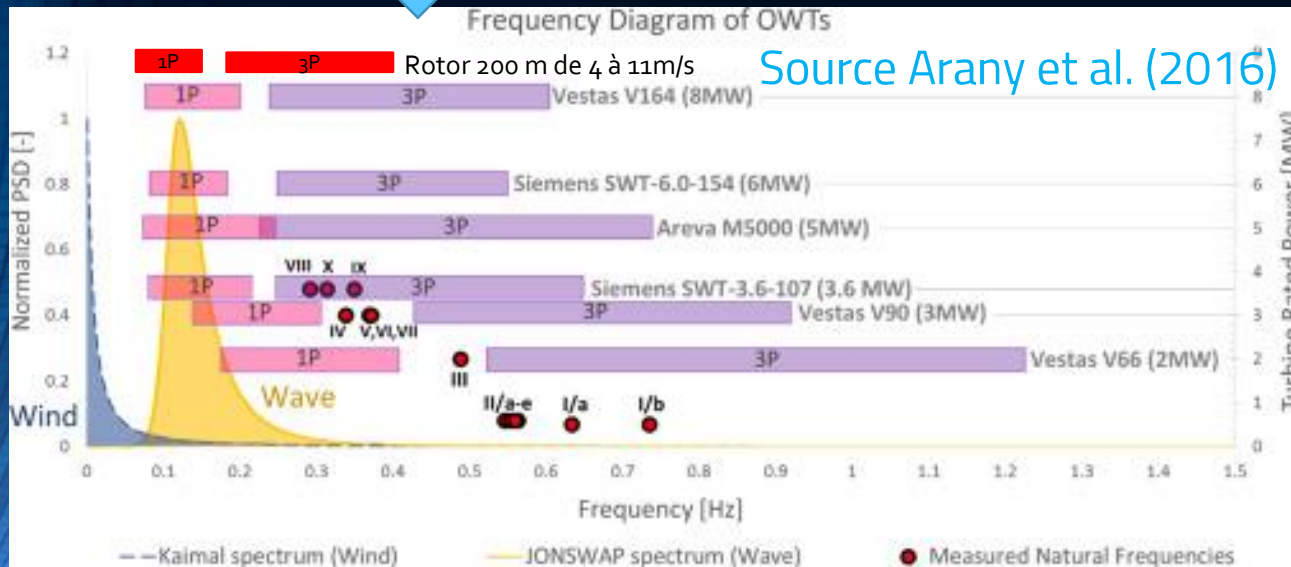
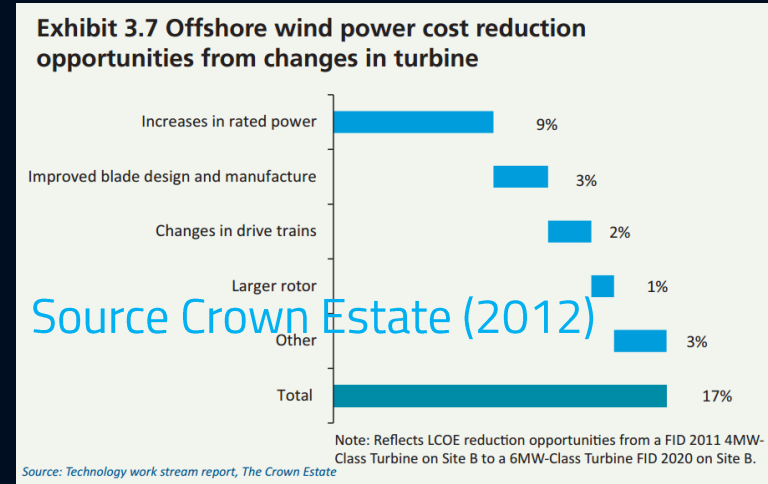
1. Déployer des technologies éprouvées (fiabilité et coût du risque)
2. Réduire le coût des opérations maritimes (impact OPEX et CAPEX installation)
 - Réduire leur temps ; moyens nautiques simples
 - Fabrication complète au port
3. Augmenter la taille unitaire des éoliennes
4. Augmenter la durée de vie → Réduire la fatigue structurelle

2.3 Augmenter taille unitaire

+ 22% sur le diamètre rotor → - 9% LCOE

2 problématiques :

- Dynamique structurale tour + Fatigue/Masse des pales



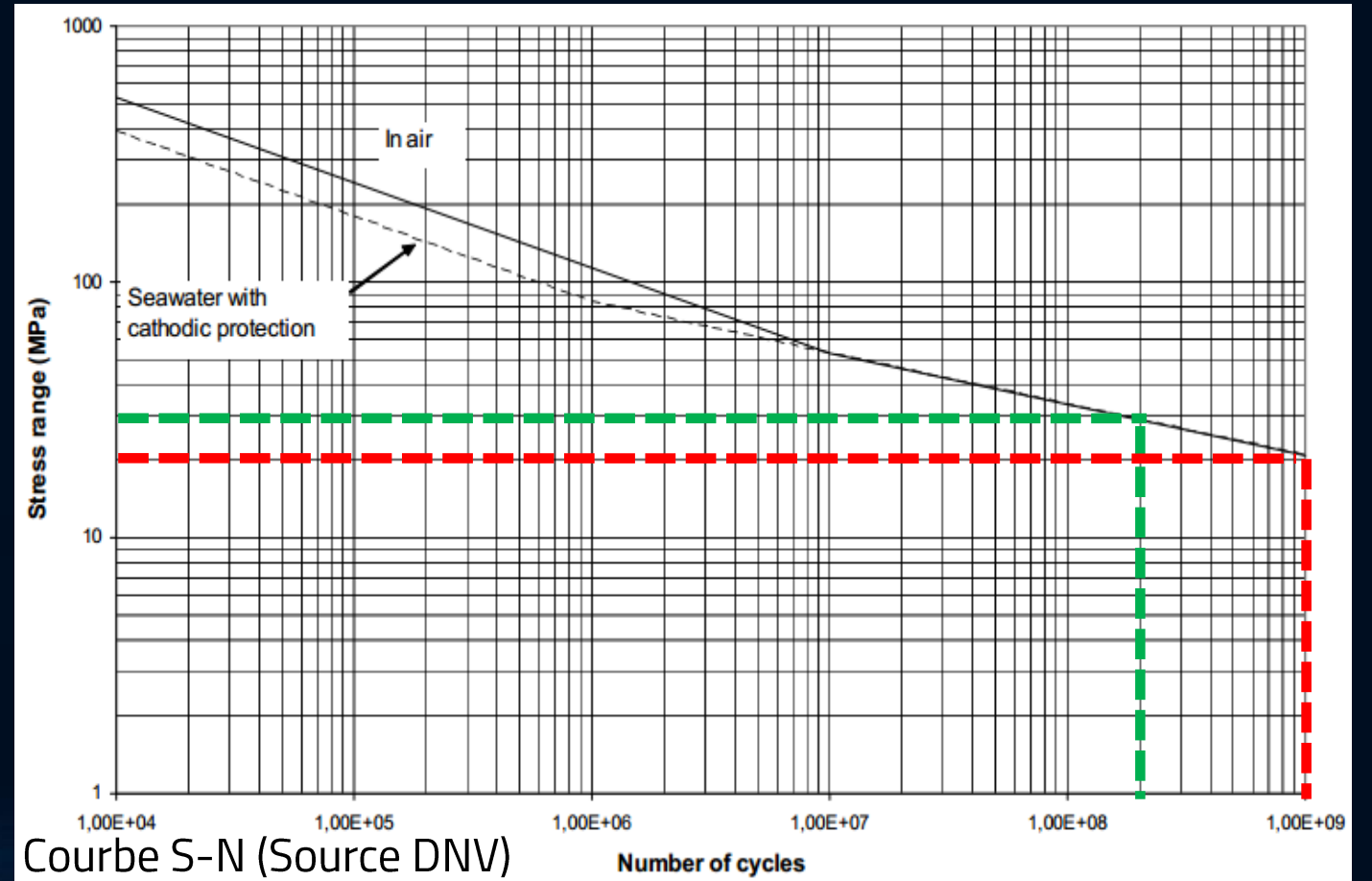
- 1^{ère} fréquence propre mât excitée par les pales
- S'écarter du rendement opti. et gérer amortir les vibrations
- Ajouter de la masse pour décaler la fréquence propre

- Upwind → La proximité mat impose une plus grande raideur des pales → Masse et coût supérieur
- Downwind et mat circulaire → Tower shadow effect augmenté → Fatigue pales

2.4 Réduire la fatigue structurelle

Evaluation de la fatigue \approx intégration dans le temps des cycles de contraintes

- Réduire les chargements et bien les distribuer pour limiter les contraintes



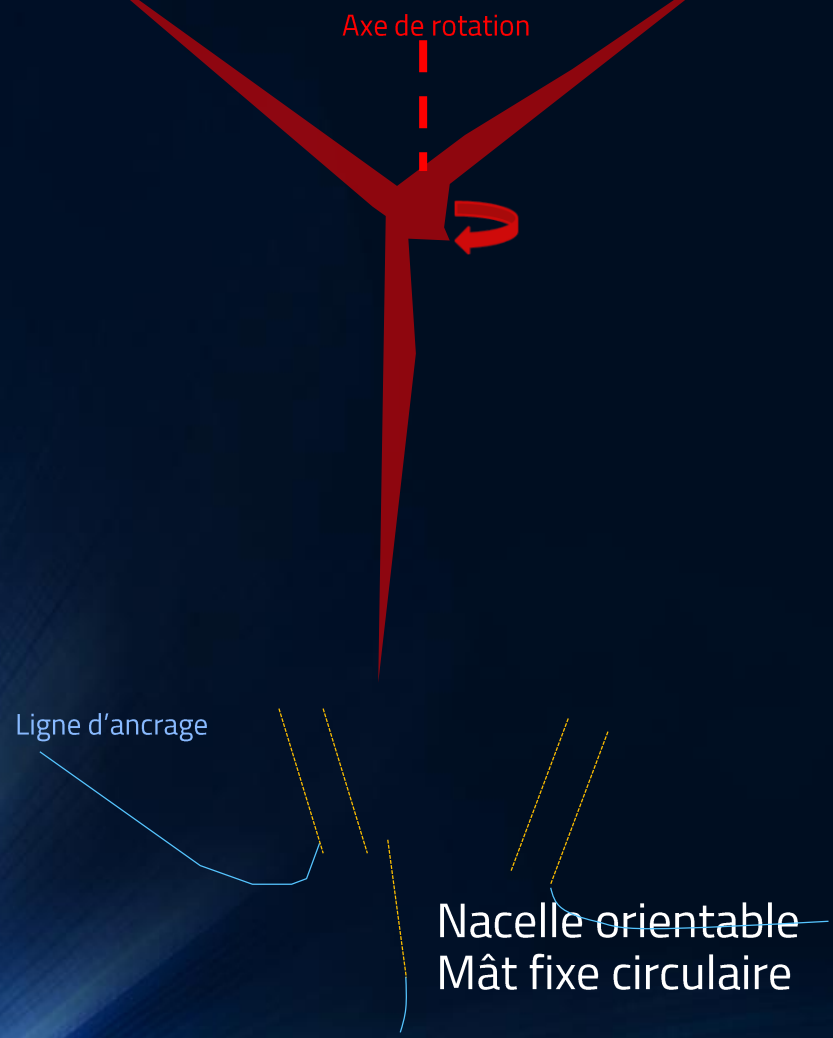
3.1 Le concept :

Eolienne flottante conventionnelle



3.2 Le concept :

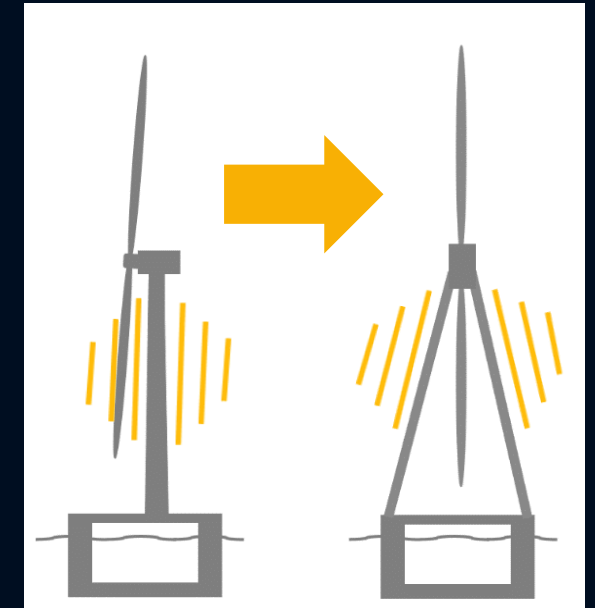
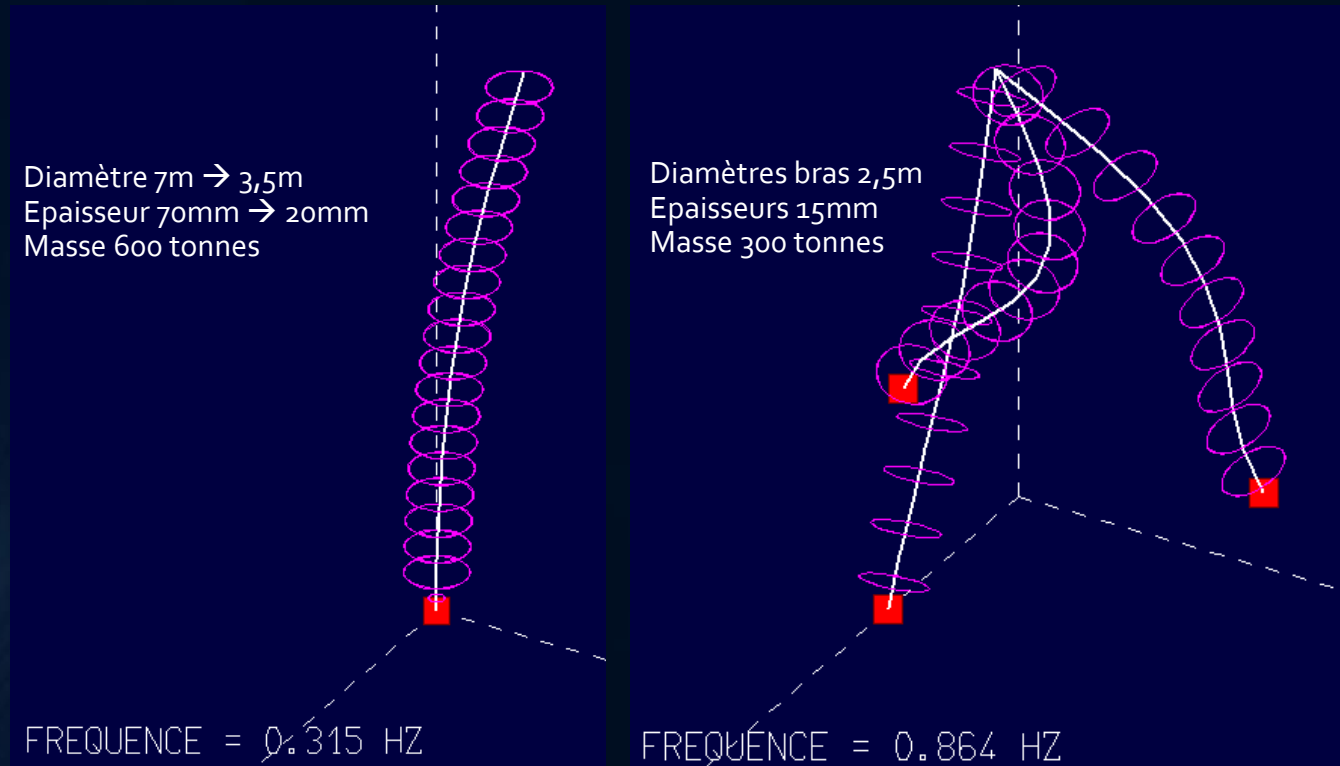
Eolienne flottante conventionnelle



4.1 Suppression du pb vibratoire

Première fréquence propre structurale décalée :

- Comparaison avec cas rotor \varnothing 200m, $P > 10\text{MW}$, nacelle de 600 tonnes

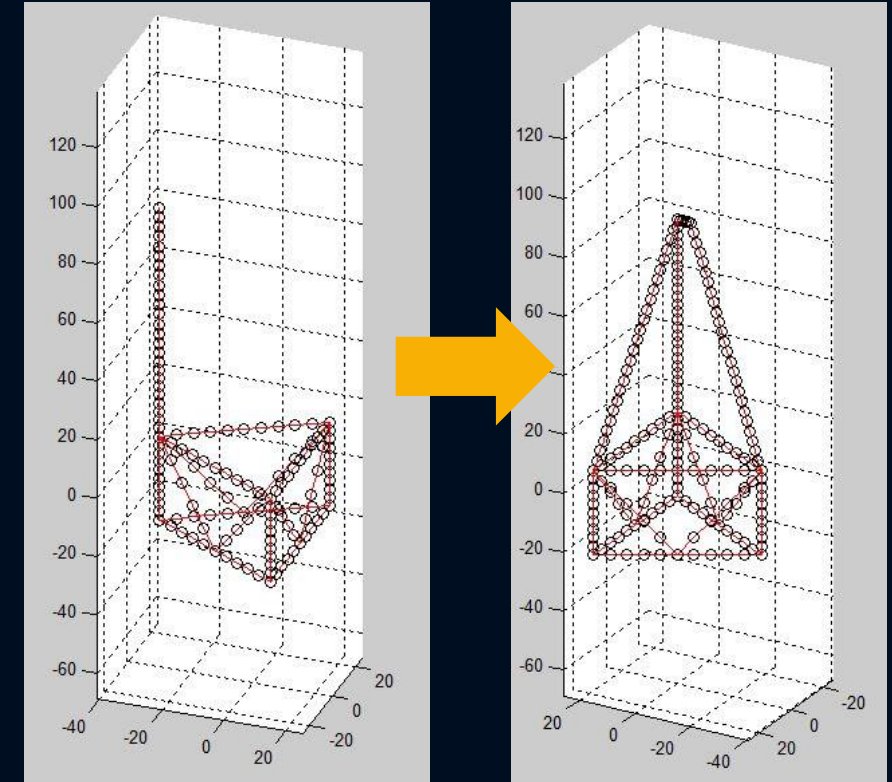
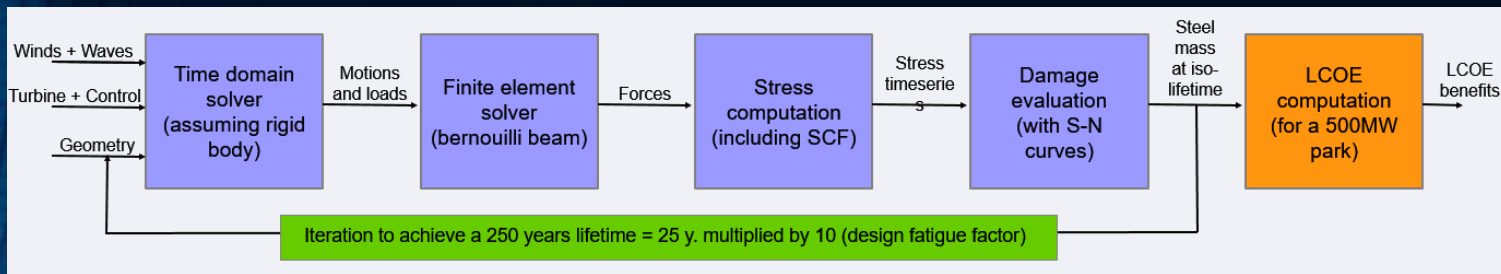


1. Rendement aéro. optimal de 4 à 11m/s
2. Pas de « passage » sur un mode vibratoire qui doit être amorti et source de fatigue
3. Pas de surpoids ou systèmes actifs pour décaler la fréquence propre

4.2 Diminution coût structure (ou augmentation durée de vie)

Moins de fatigue donc moins de masse

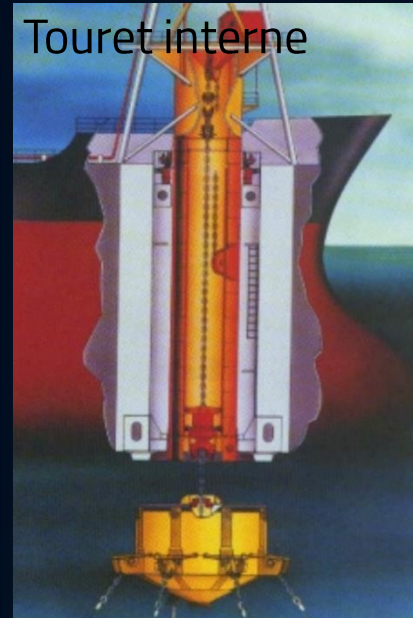
- Comparaison par étude aéro-servo-hydro-structurale
- Cas 6MW à iso-hydrodynamique, iso-contrôle, iso-durée de vie, iso-concentration de contraintes



1. -30% de masse, soit -10% LCOE par l'économie de matière
2. Certains gains non comptabilisés

4.3 Un ancrage par point unique (SPM)

Solution éprouvée dans le parapétrolier :

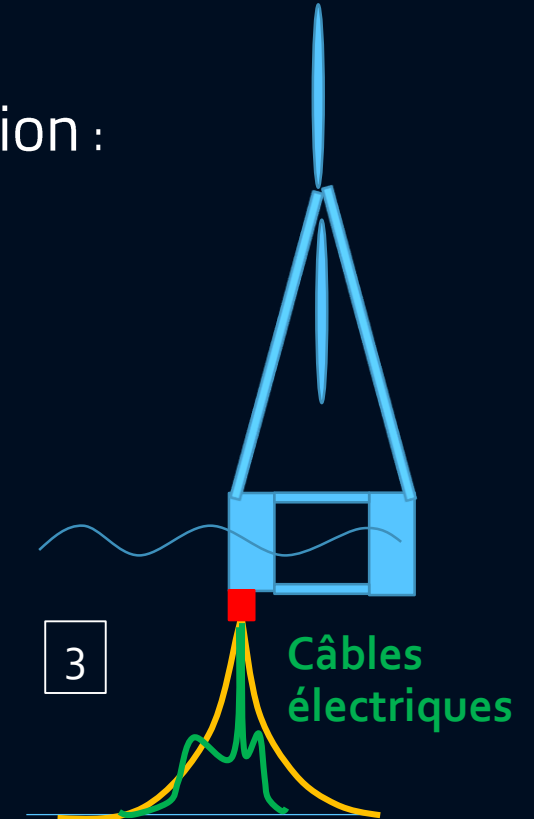
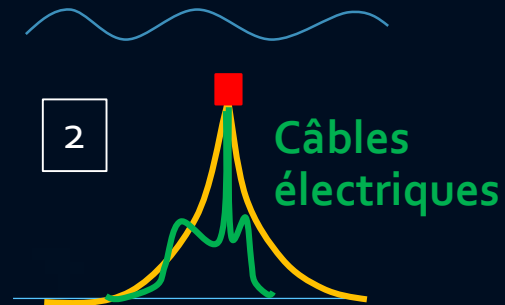
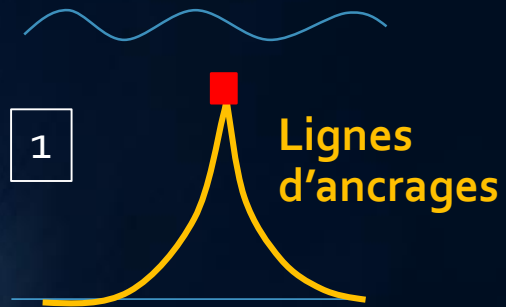


Preuve de l'auto-orientation et de la stabilité : voir K. Iijima et al. (2015)

4.3.a Simplification des opérations marines

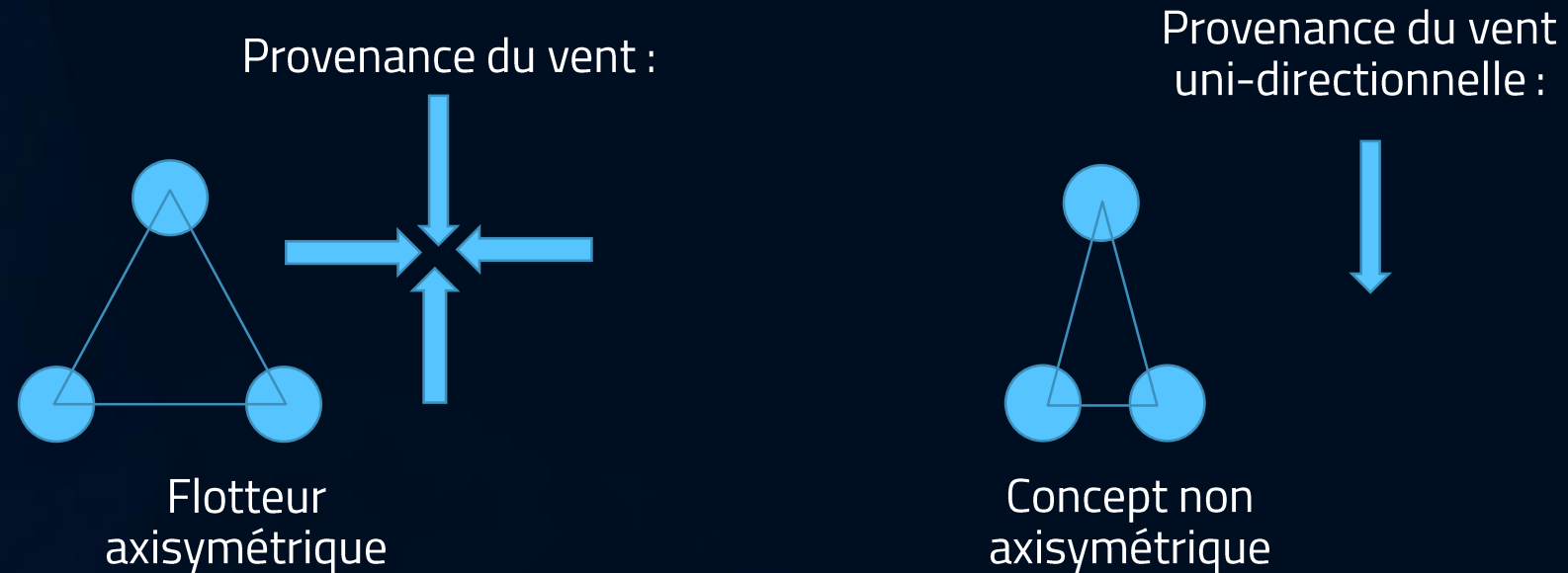
L'ancrage par point unique permet de découpler l'installation :

- Pb soulevé par Bourbon sur Windfloat
1. Installation des lignes d'ancrages sur le point fixe
 2. Installation des câbles électriques
 3. Connexion-déconnexion de l'éolienne sans couper le réseau



4.3.b Flotteur plus étroit que long

Orientation face au vent de la structure
→ Besoin de stabilité transversale < longitudinale



4.4.a Bénéfice sur le dimensionnement nacelle

Permet de supprimer le moment de flexion lié à la masse du rotor en porte-à-faux



Architecture
classique



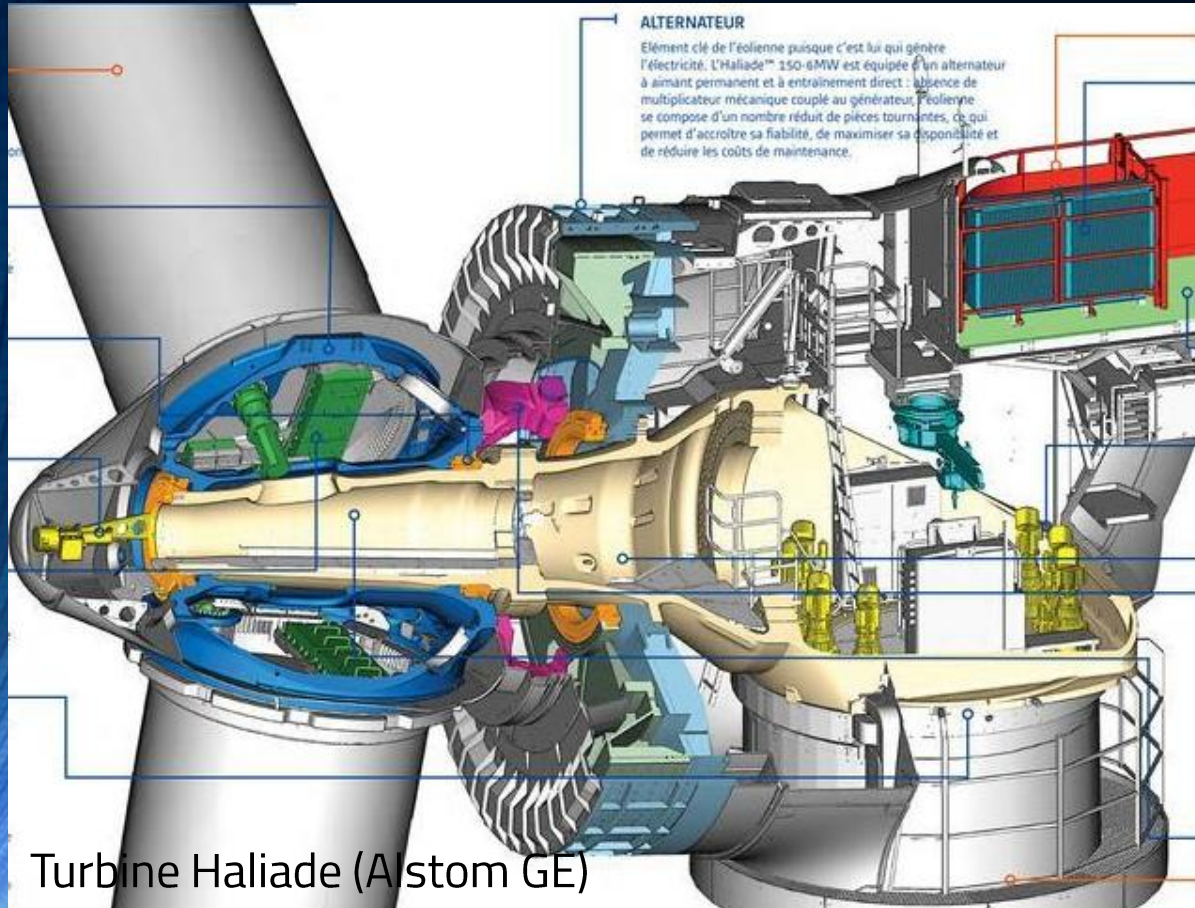
ENERCON®
GE-Alstom-Ecotecnia®
VENSYS®



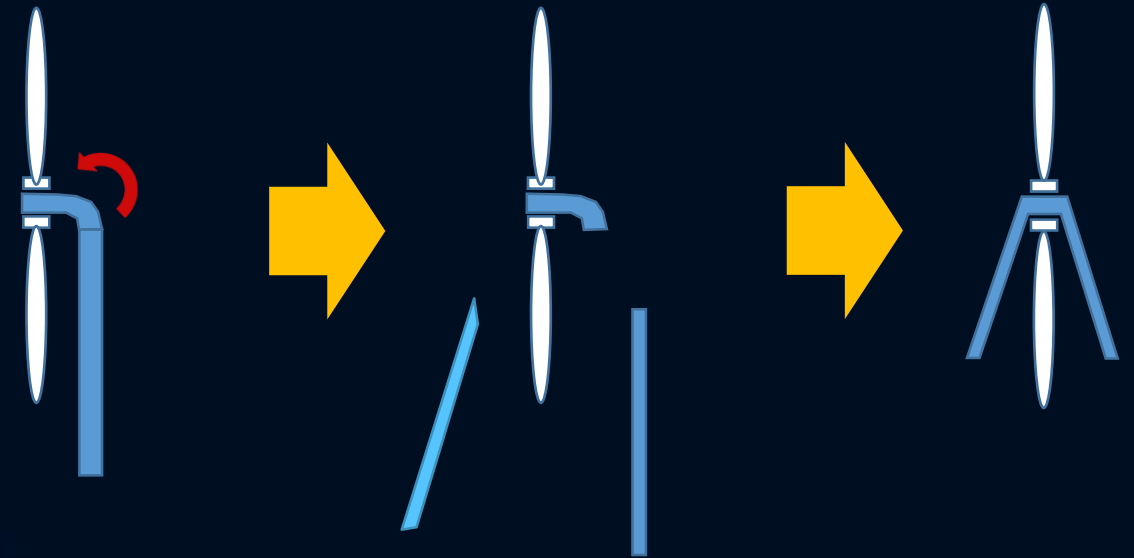
EOLINK
concept

4.4.b Architecture nacelle

Technologie semblable à certains turbiniers :



Turbine Haliade (Alstom GE)



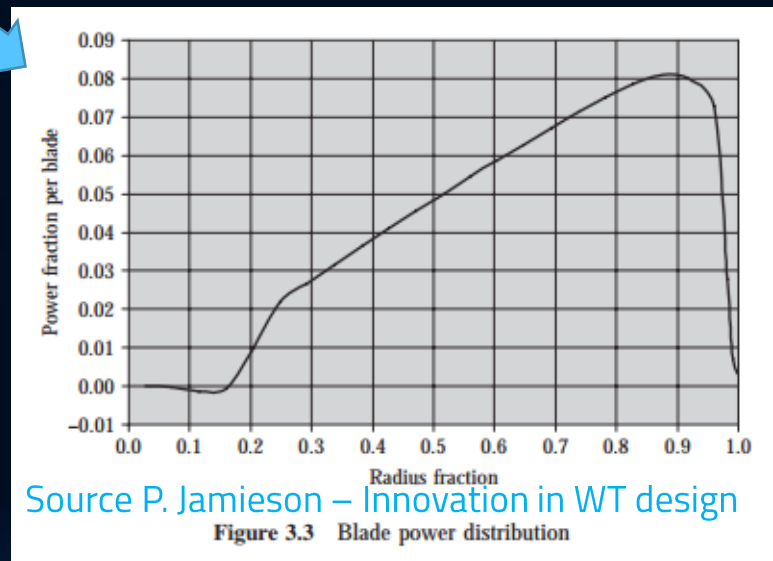
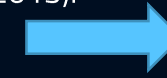
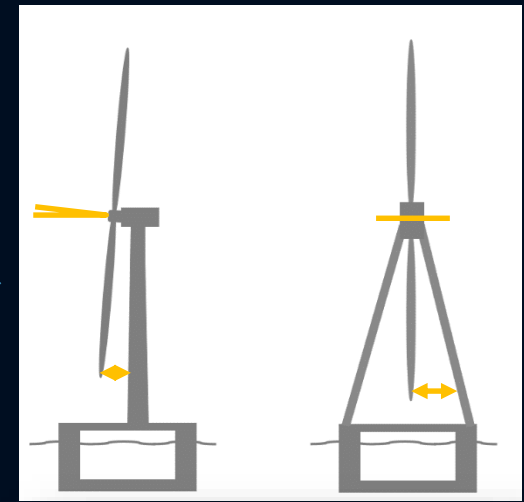
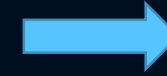
4.5 Bénéfice sur le rotor

Verrou lié à la proximité pales-mat supprimé

- Utilisation de pales plus flexibles (légères → moins de fatigue)
- Plus de tilt de l'axe du rotor

Réduction de l'effet de masquage (voir thèse M. Reiso – NTNU 2013):

- Supports profilés
- Distance supports-pales augmentée dans les parties des pales sources de couple

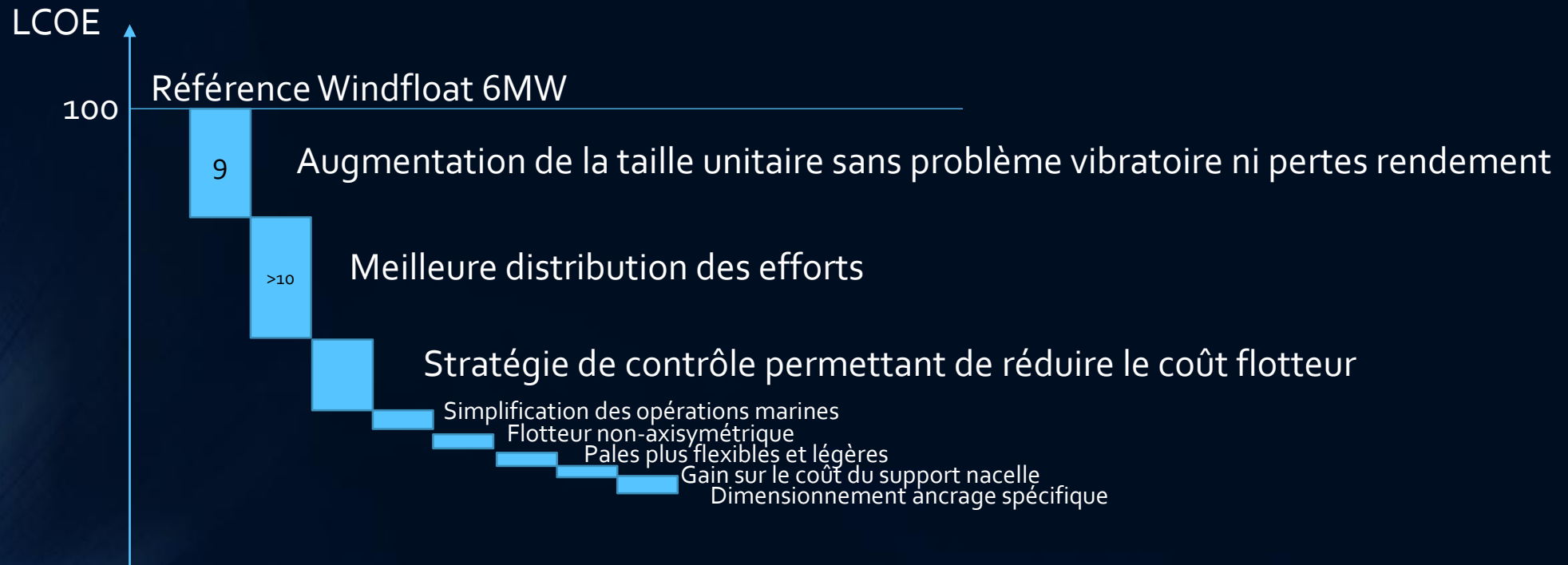


5 Optimisation contrôle-commande

1. Eoliennes conventionnelles :
 - Algorithme détaillé sur demande
2. Flottant : adaptation des gains
3. Régulation individualisée du pas
 - Pour juguler la variation de vitesse avec l'altitude et le masquage du mat
 - **EOLINK : Utilisation pour optimiser l'orientation face au vent**
4. **EOLINK : Régulation avec un accéléromètre en tête de mât**
 - **Limitation des mouvements et de la fatigue associée**
5. Régulation par anticipation du vent à l'aide d'un LIDAR
6. **EOLINK : Autre stratégie en développement**

6 Synthèse

- Un agencement innovant de sous-systèmes matures
- Une réduction du LCOE > 20%



7 Réponse à la dernière question posée lors de la table ronde

Les points scientifiques d'intérêts :

- Mécanique structure (optimisation du dimensionnement, analyse du comportement vibratoire)
- Dynamique du système (optimisation des performances hydrodynamiques et des lois de commande)
- Modélisation du coût des opérations maritimes
- Optimisation du concept économique et de son développement (contraintes du tissu industriel des régions dépendantes énergétiquement, avec une densité démographique moyenne à forte et dotées d'une façade maritime ventée).

EOLINK

marc.guyot@eolink.fr

www.eolink.fr

