

Etude de turbines à flux transverse par simulation des grandes échelles

G. Balarac



Collaborations : N. Guillaud (LEGI), M. Guilbot (LEGI), J.-L. Achard (LEGI), S. Barre (LEGI), G. Maurice (LEGI), E. Goncalves (Pprime), J. Zanette (HydroQuest), T. Jaquier (HydroQuest)

GIS « SUCCESS » (CNRS) : développement du code YALES2

*Thèse de N. Guillaud financée par **bpi**france (FUI HydroFluv)*

Turbine à flux transverse (VAHT)

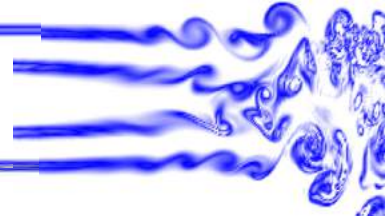
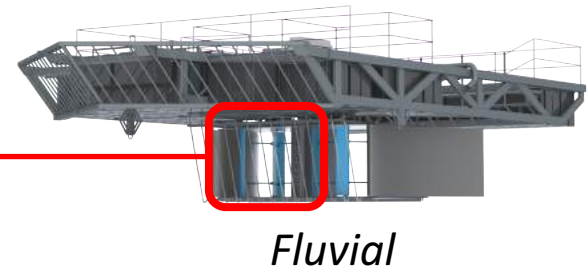
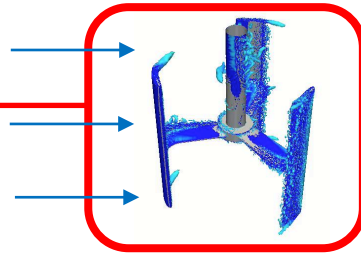


Illustration du concept **HydroQuest**
Smart power solutions



■ Coefficient de puissance

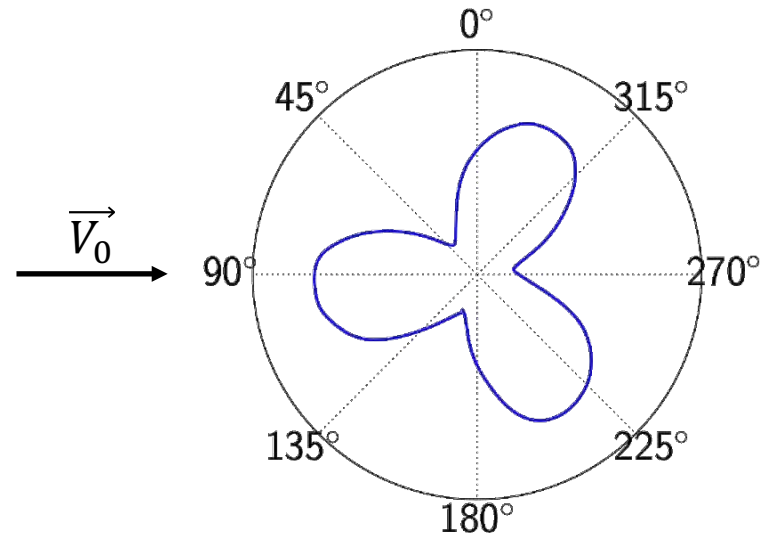
$$C_p^{VAHT} = \iint_{S_{VAHT}} C_p(\overrightarrow{OI}) dS$$

avec

$$C_p(\overrightarrow{OI}) = \frac{C_z(\overrightarrow{OI}) \omega}{0.5 \rho D H V_0^3}$$

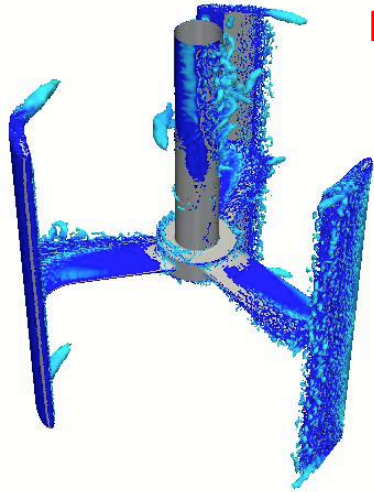
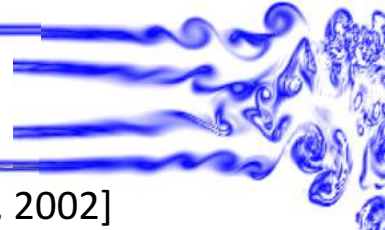
et

$$C_z(\overrightarrow{OI}) = \left(\overrightarrow{OI} \wedge \left(-P \vec{n}_I + \vec{\tau} \cdot \vec{n}_I \right) \right) \cdot \vec{e}_z$$



Coefficient de puissance instantanée C_p^{VAHT}
d'une turbine tri-pale

Paramètres influant sur la performance



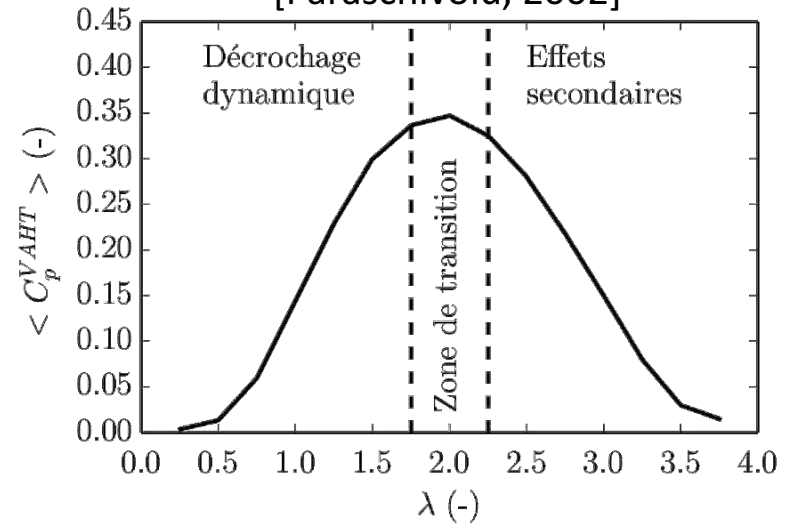
Paramètre d'avance,

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_0}$$

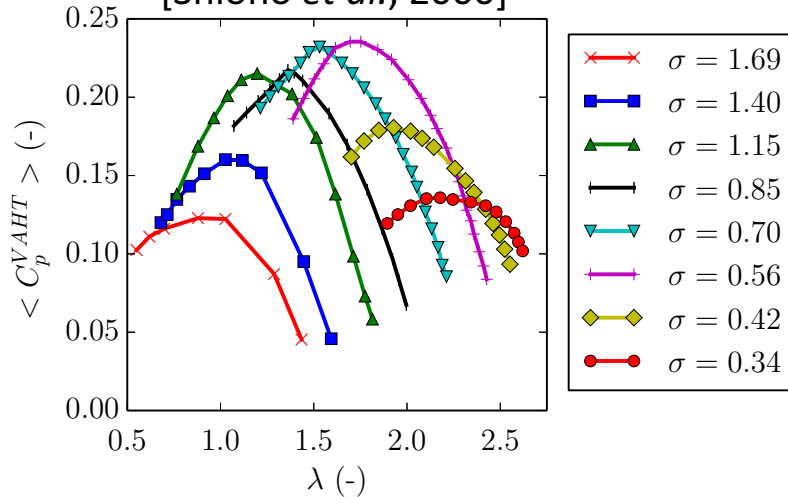
Solidité,

$$\sigma = \frac{Nc}{2R}$$

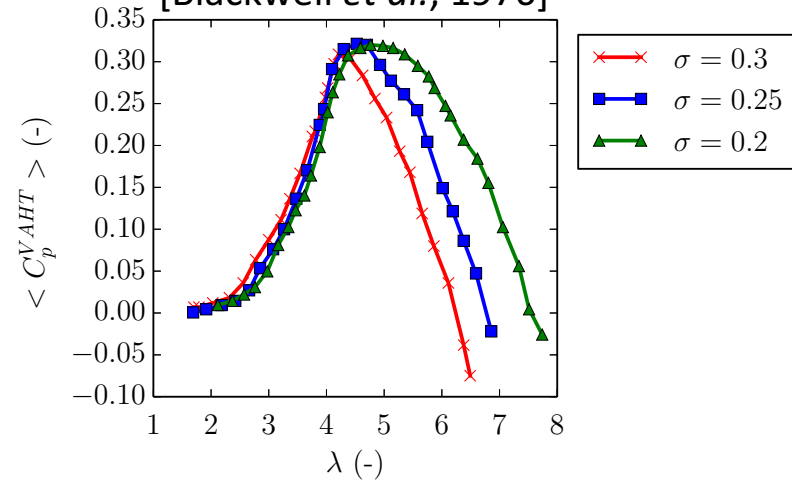
[Paraschivoiu, 2002]



[Shiono *et al.*, 2000]

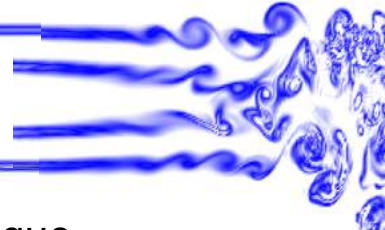


[Blackwell *et al.*, 1976]



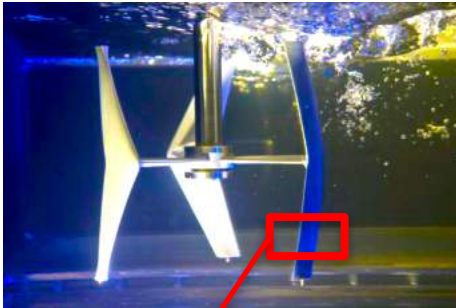
→ comprendre l'influence des paramètres λ et σ sur le coefficient de puissance

La simulation de la turbulence



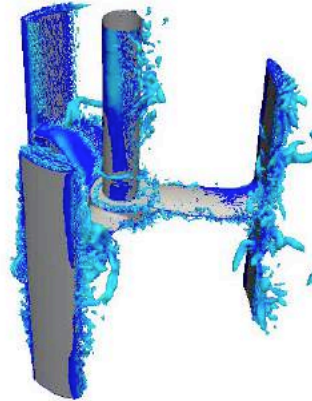
- **Enjeu** : développer une approche numérique fiable pour prédire la dynamique d'écoulements turbulents

Expérience d'hydrolienne



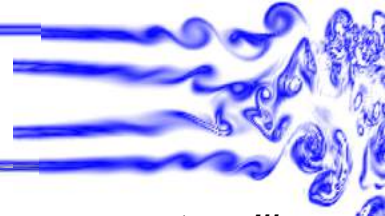
Modélisation \rightarrow
$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j}$$

Simulation d'hydrolienne

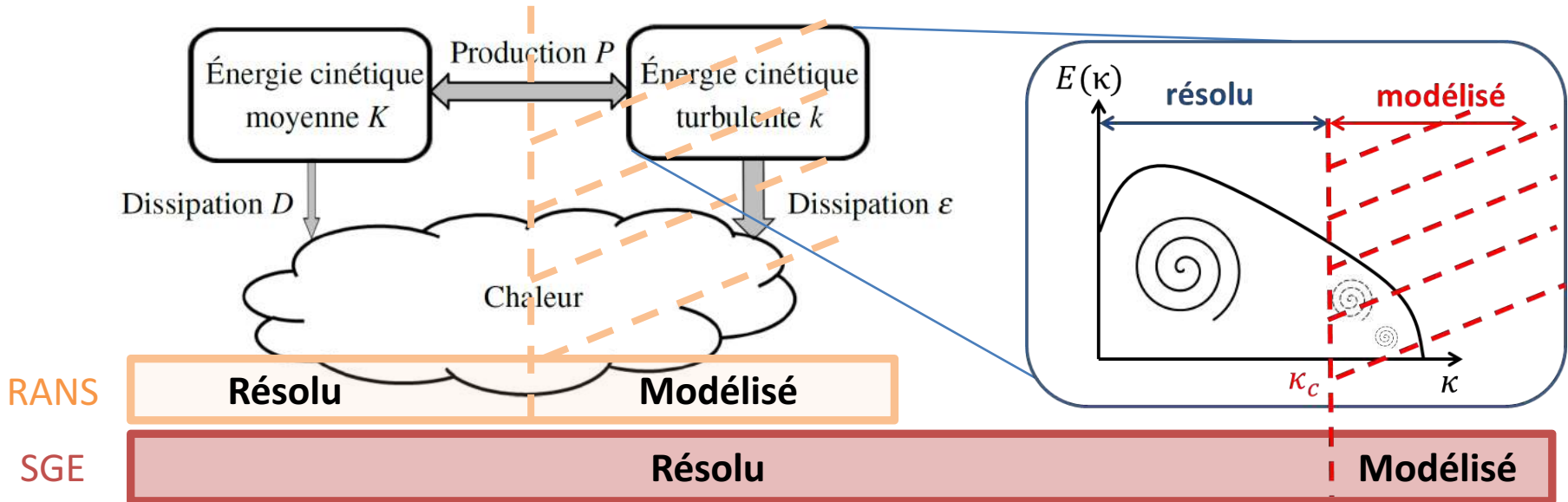


- **Verrou** : La turbulence se caractérise par une large gamme d'échelles du mouvement *qu'il faut discrétiser (!?)*

La modélisation de la turbulence

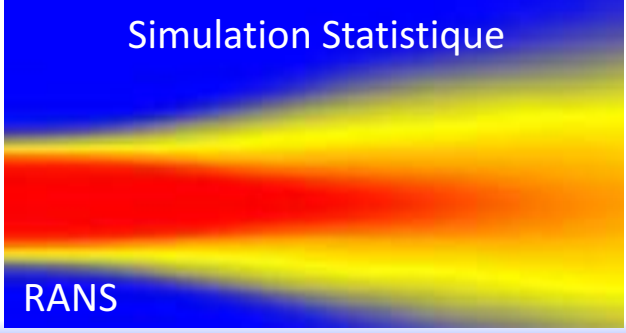
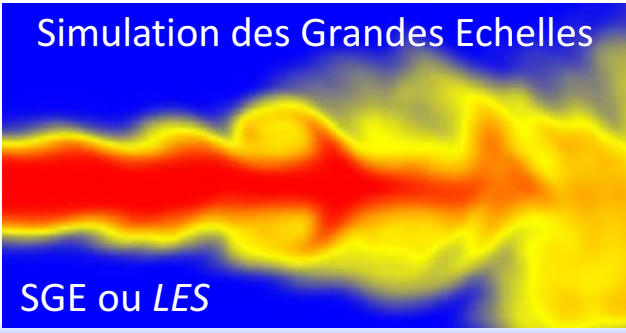
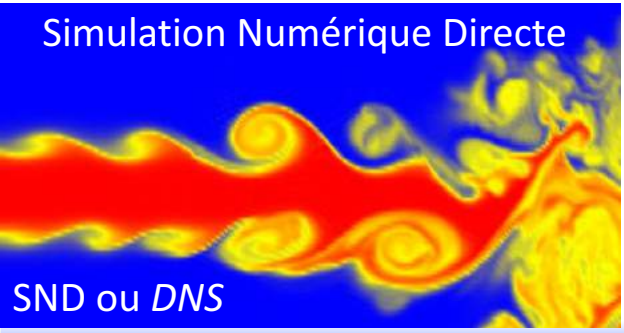


■ **Verrou** : La turbulence se caractérise par une large gamme d'échelles du mouvement *qu'il faut modéliser*

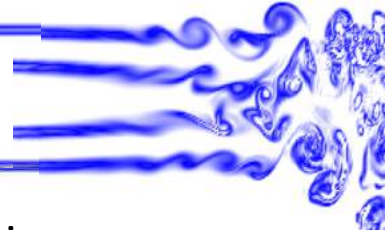


RANS :
 ✓ coût de calcul faible
 ✗ modèle non universel

SGE :
 ✓ tend vers une DNS
 ✗ coût de calcul important



SGE d'hydroliennes à flux transverse



Turbine : paroi



16D

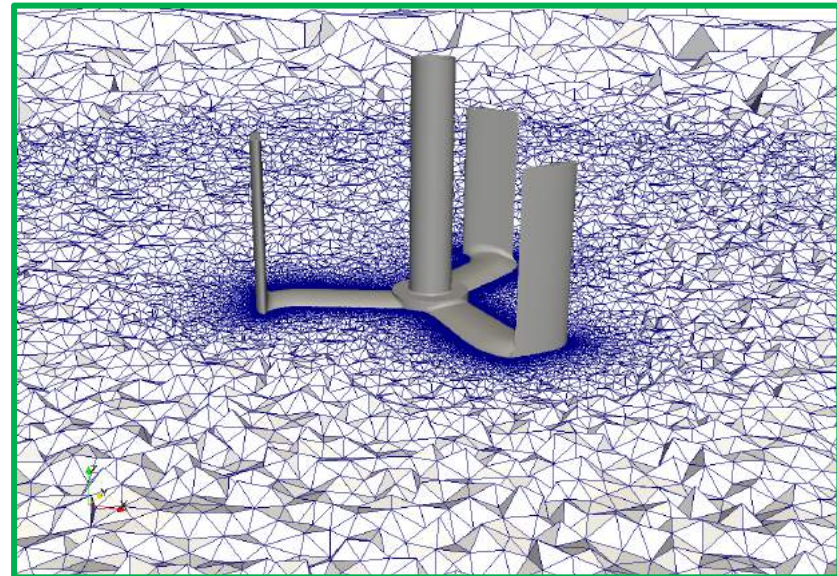
- Cas des essais en canal hydrodynamique
- nb. de Reynolds de corde : $2 \cdot 10^5$
- Simulation en référentiel tournant
- Modèle de Smagorinsky dynamique localisé
- Maillage : ≈ 150 millions de cellules ; Δy^+ en paroi de l'ordre de 3
- Calcul massivement parallèle : GENCI/CINES : ≈ 1024 processeurs

Solveur

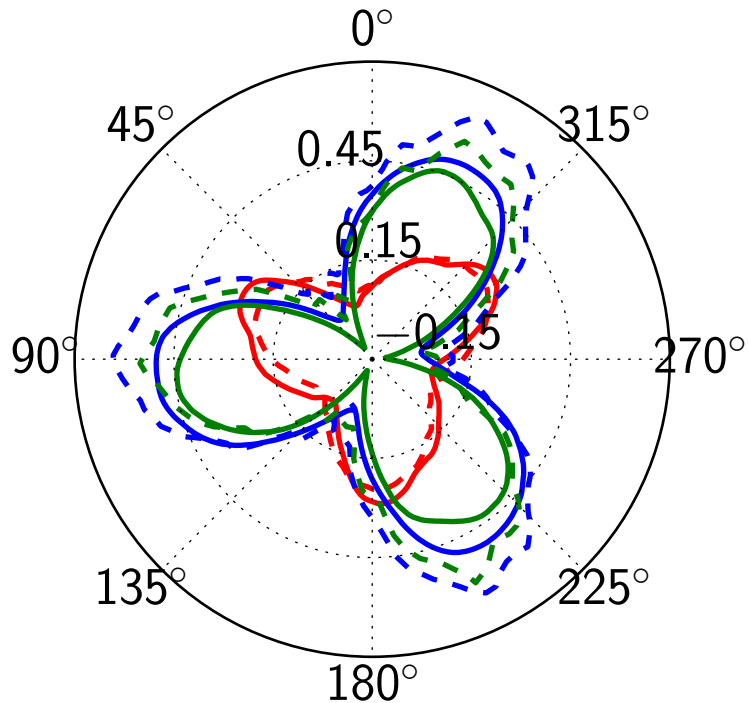
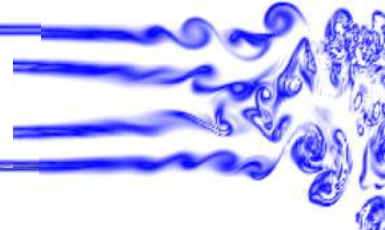
YALES2

développé dans le cadre du GIS du CNRS

SUCCESS



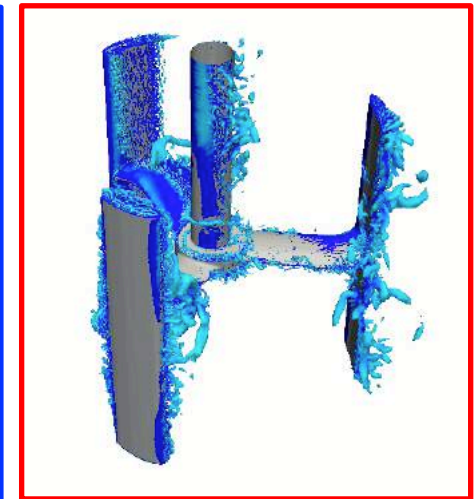
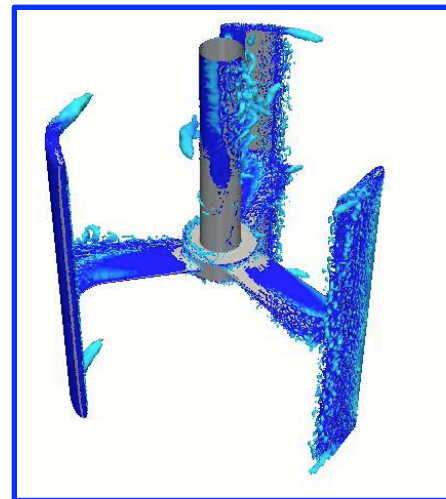
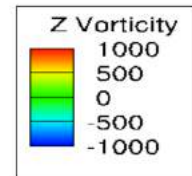
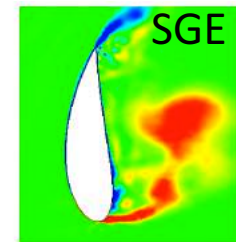
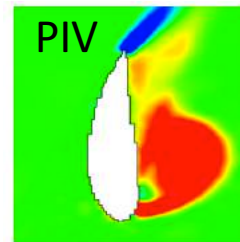
Validation des simulations: comparaison aux expériences



$C_p^{VAHT}(\theta)$ — $\lambda = 2$; $\lambda = 1$; $\lambda = 2.5$
— SGE --- Exp.

- Bon accord avec les résultats expérimentaux (effet de confinement) [Dellinger, 2011; Bossard, 2012]

Champ de vorticité axiale, $\lambda = 1$, $\theta = 90^\circ$

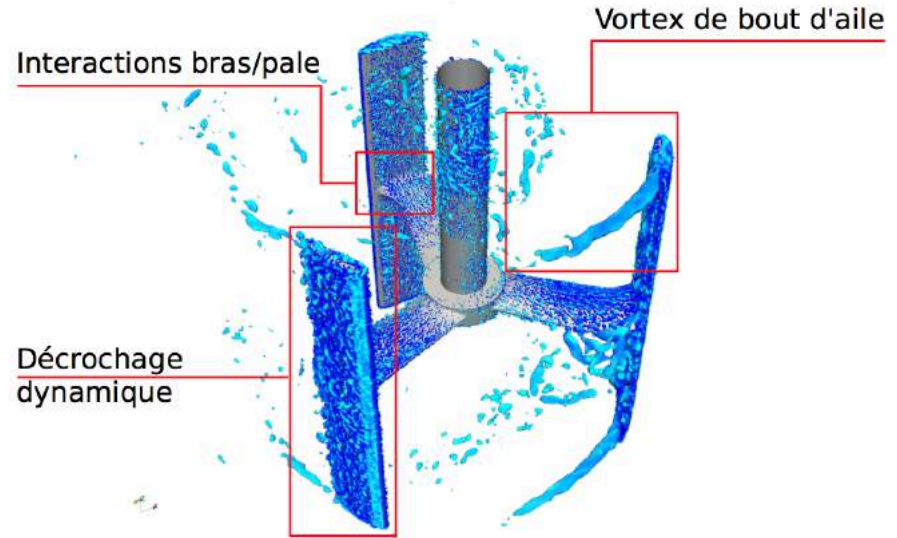


- Description fine de la dynamique tourbillonnaire : effet de **décrochage dynamique**   faible λ

Outils d'analyse des SGE

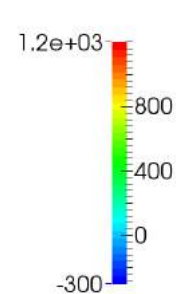
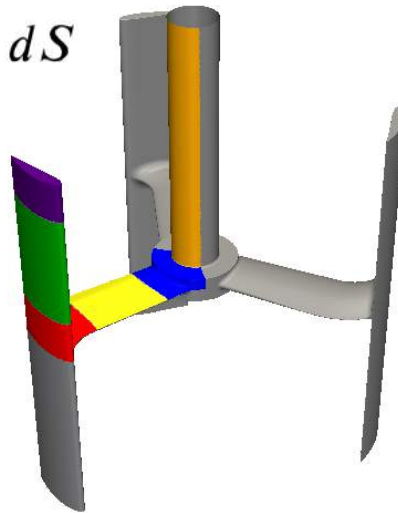
Sources de dissipation de puissance :

- Traînée du profil
- Extrémité de pale
- Raccordement bras/pale
- Traînée des éléments de liaison



Coefficients de puissance « régionaux »

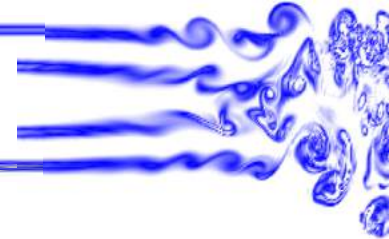
$$C_p^{region} = \iint_{S_{region}} C_p(\overline{OI}) dS$$



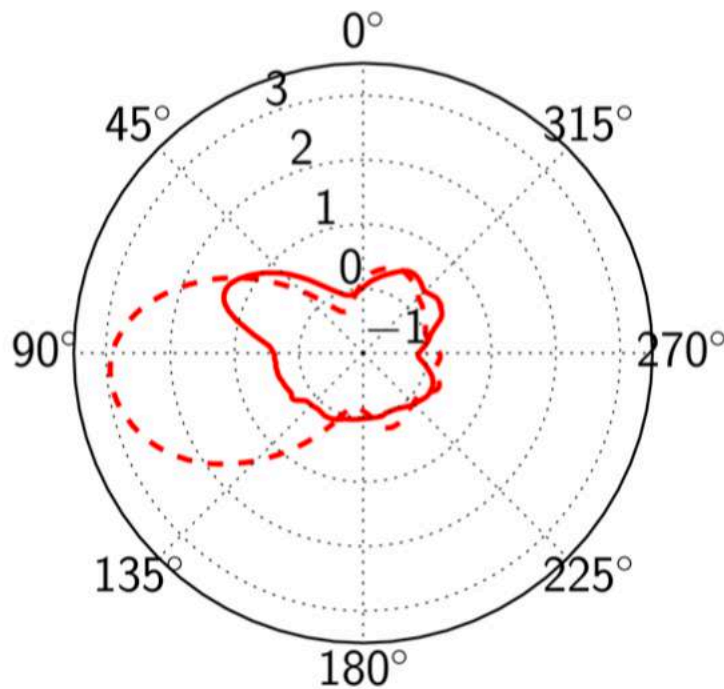
Coefficient de puissance local :

$$C_p(\overline{OI})$$

Outils d'analyse : retour sur le décrochage dynamique

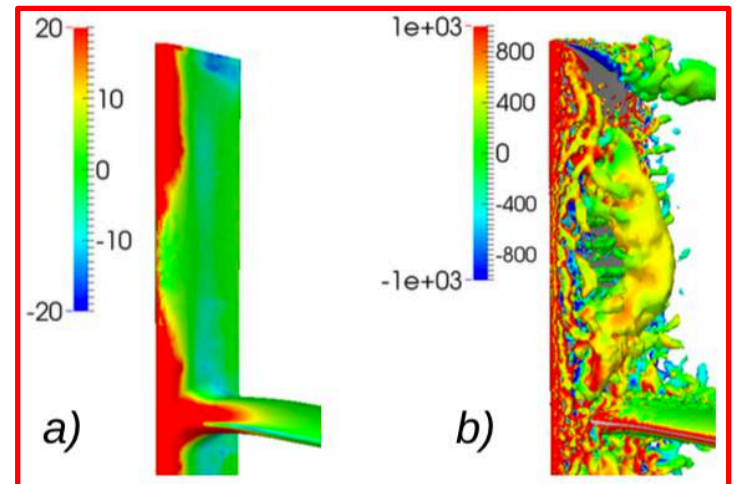
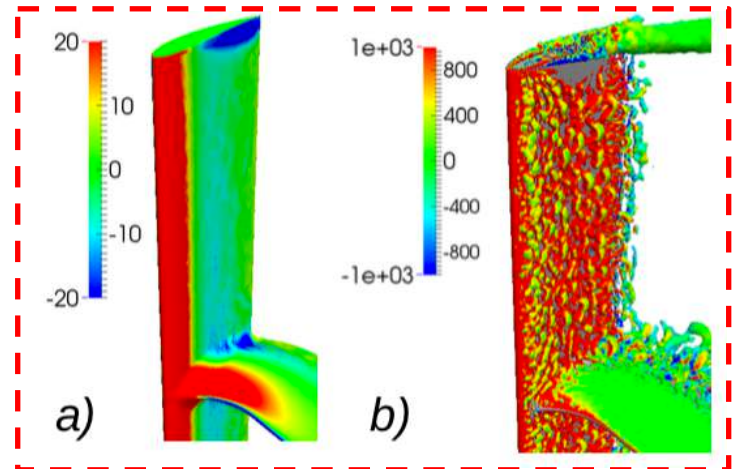


Coefficient de puissance local au cœur de pale



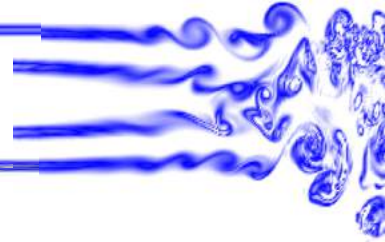
--- $\lambda = 2$ - $\lambda = 1$

$\theta = 95^\circ$

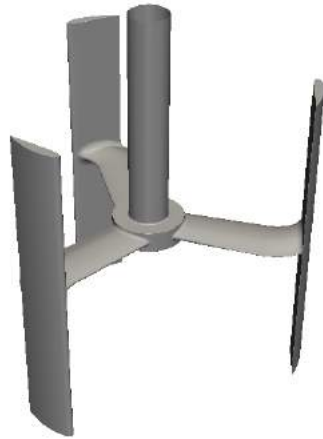


a) Répartition du coefficient de puissance ;
b) Structures tourbillonnaires

Effet de solidité et notion de turbine « idéale »



turbine réelle

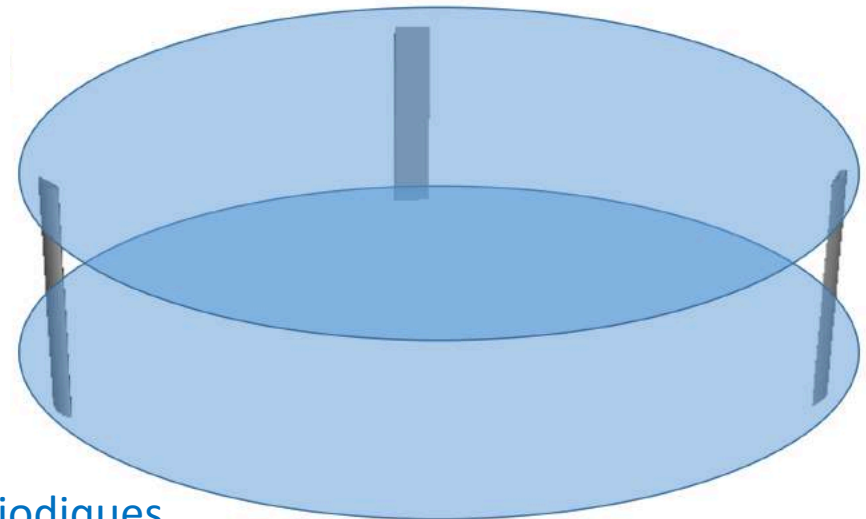
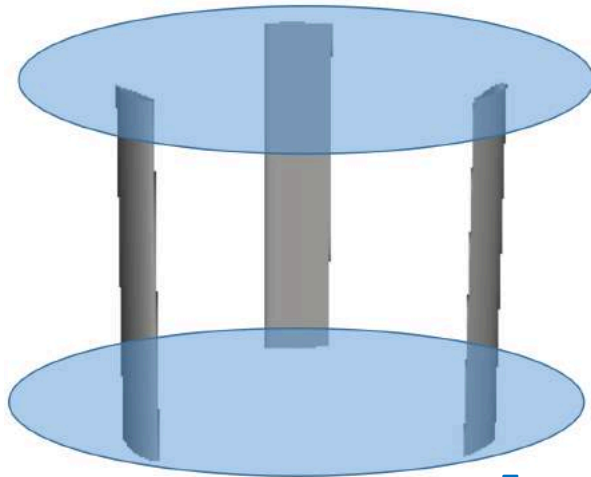


forte solidité



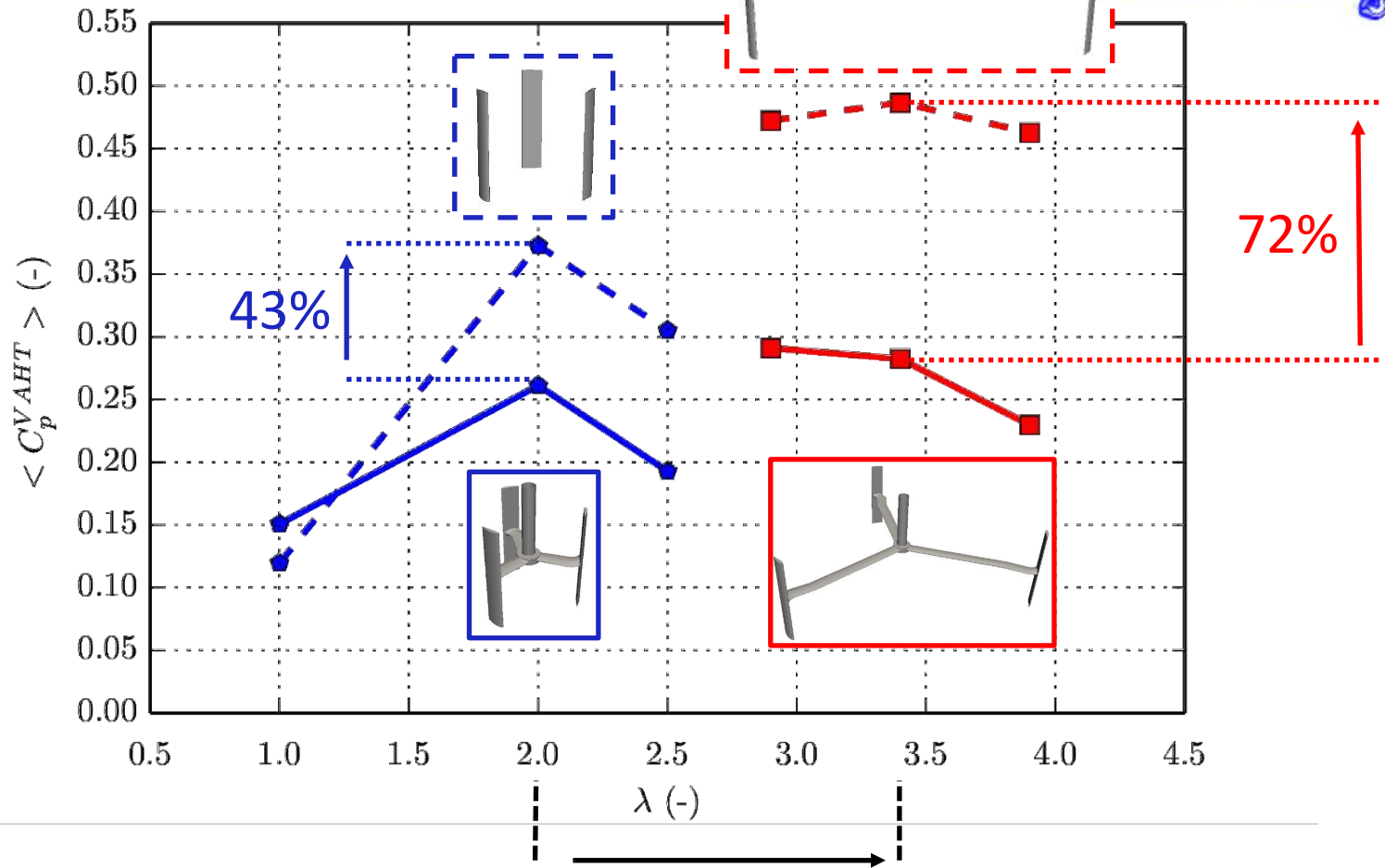
faible solidité

turbine idéale



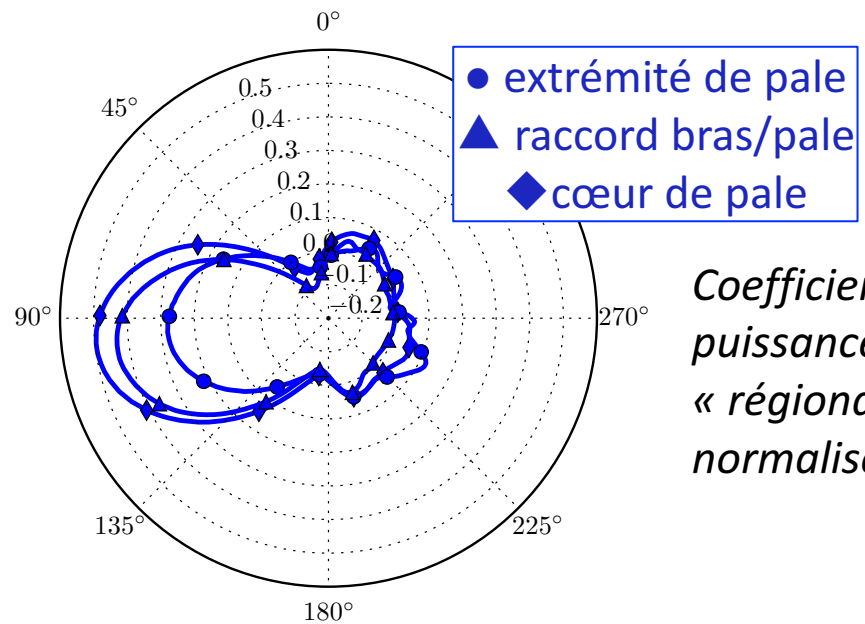
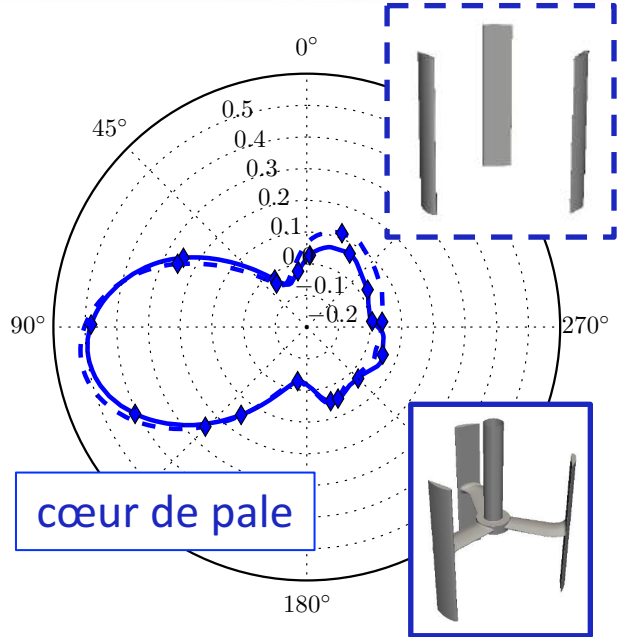
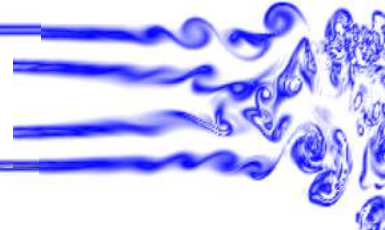
Faces périodiques

Coefficients de puissance globaux



- globalement turbine idéale plus performante à faible solidité
- globalement turbine réelle moins performante à faible solidité

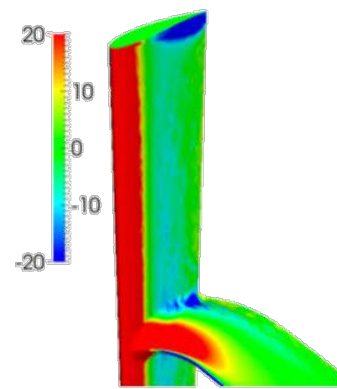
Réelle vs. Idéale : cas de forte solidité



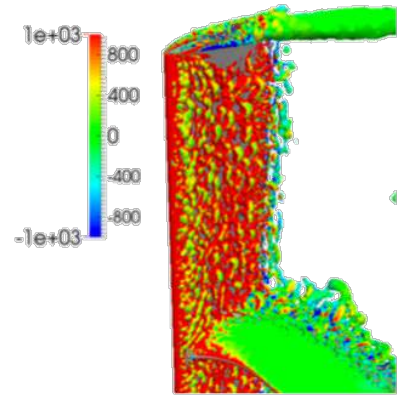
Coefficients de puissance « régionaux » normalisés.

- Cœur de pale proche de la performance idéale
- Perte de performance :
 - Raccord bras/pale
 - Extrémité de pale

$\theta = 95^\circ$

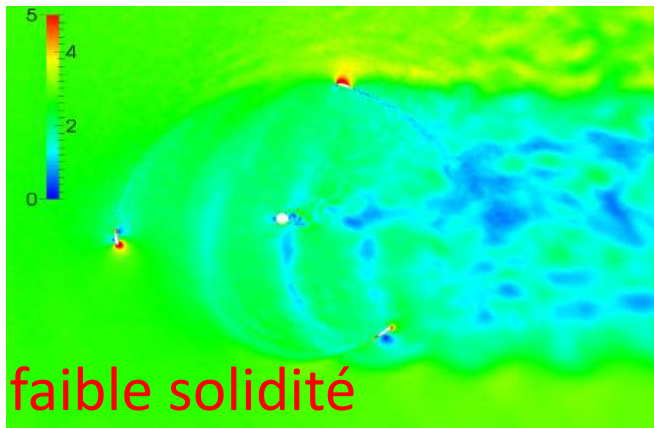
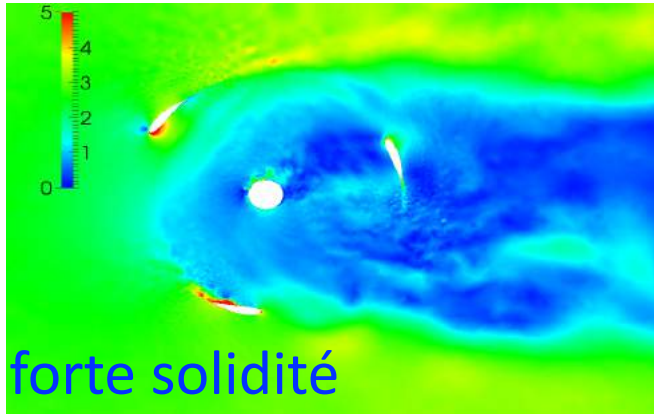
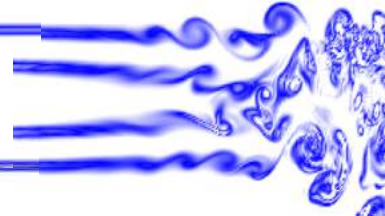


$C_p(\overline{OI})$



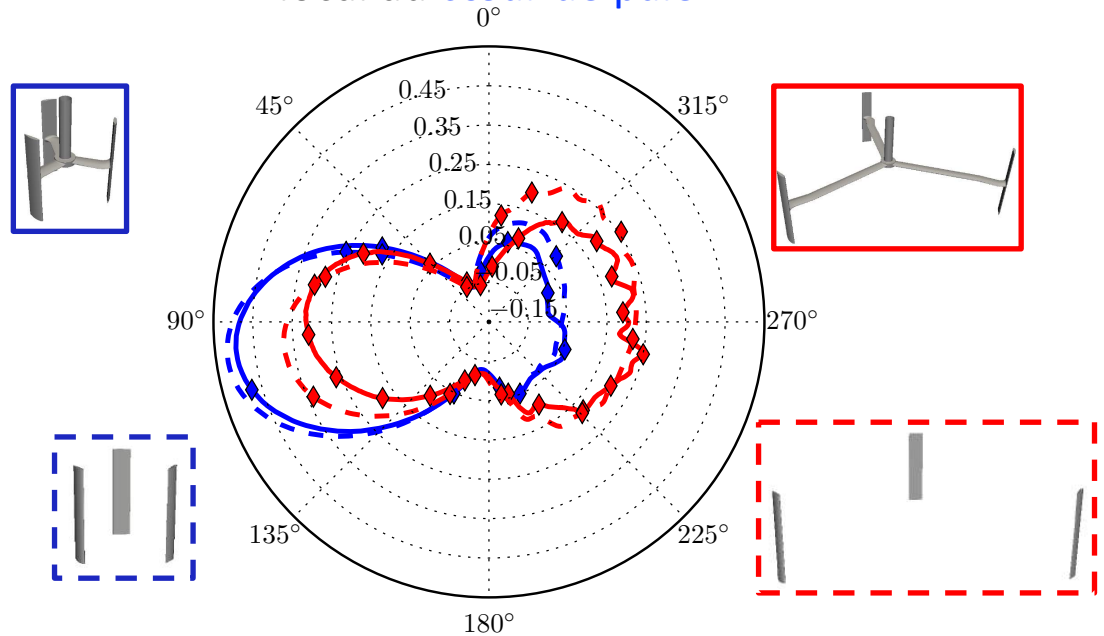
Structures tourbillonnaires

Effet de **solidité** : performance cœur de pale



Champs de vitesse absolue

Coefficient de puissance local au cœur de pale

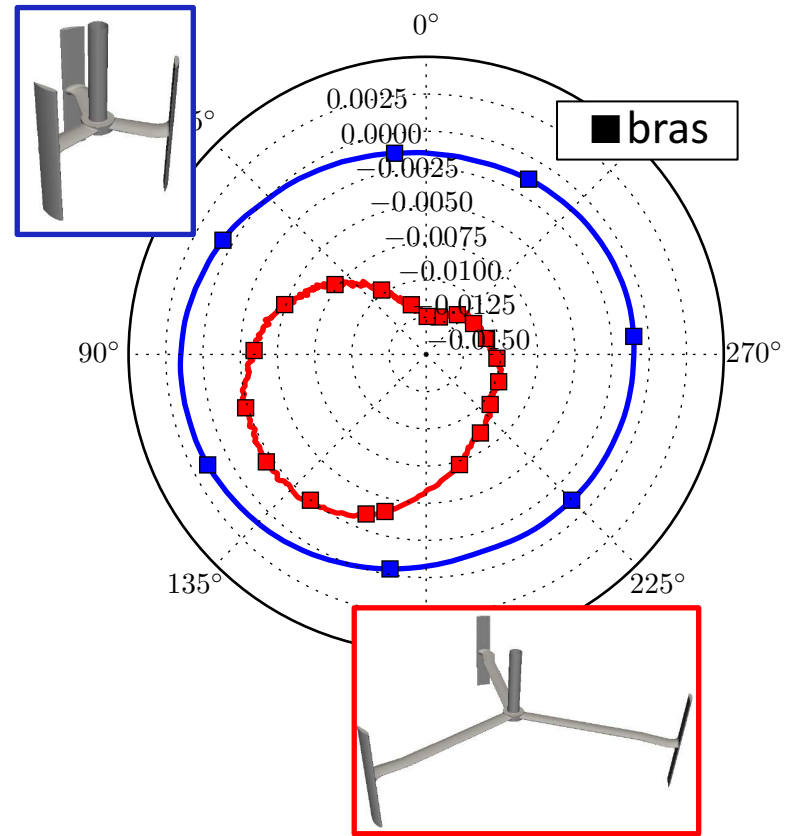
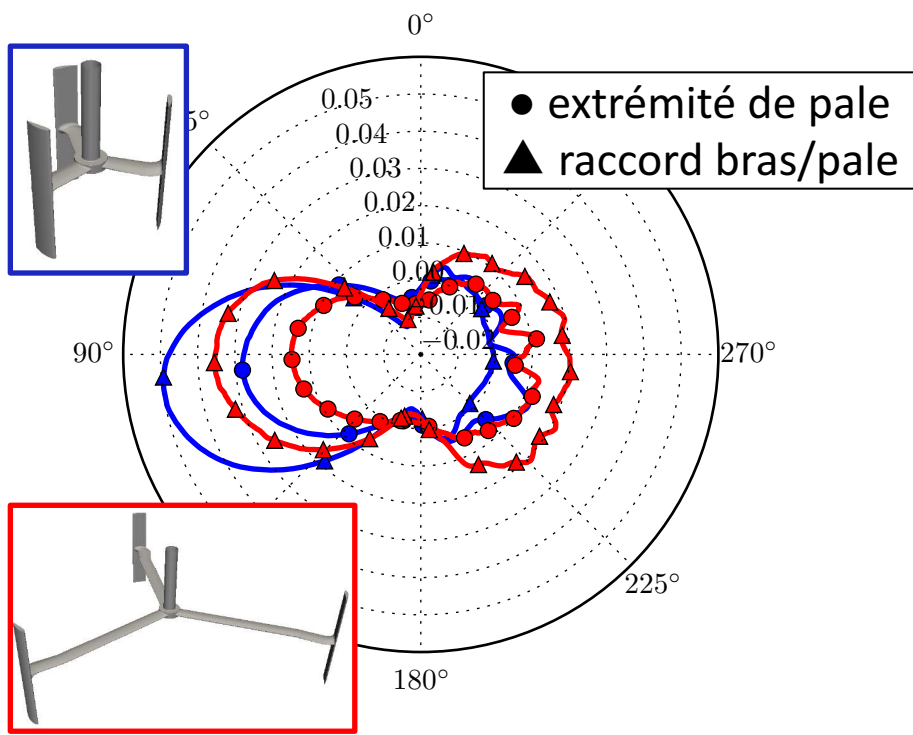
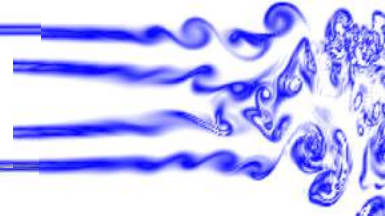


A faible solidité :

- limitation d'un sillage « massif »
- récupération de performance dans le demi disque aval
- écart notable entre réel et idéal

→ globalement turbine idéale plus performant à faible solidité

Effet de **solidité** : pertes de performance

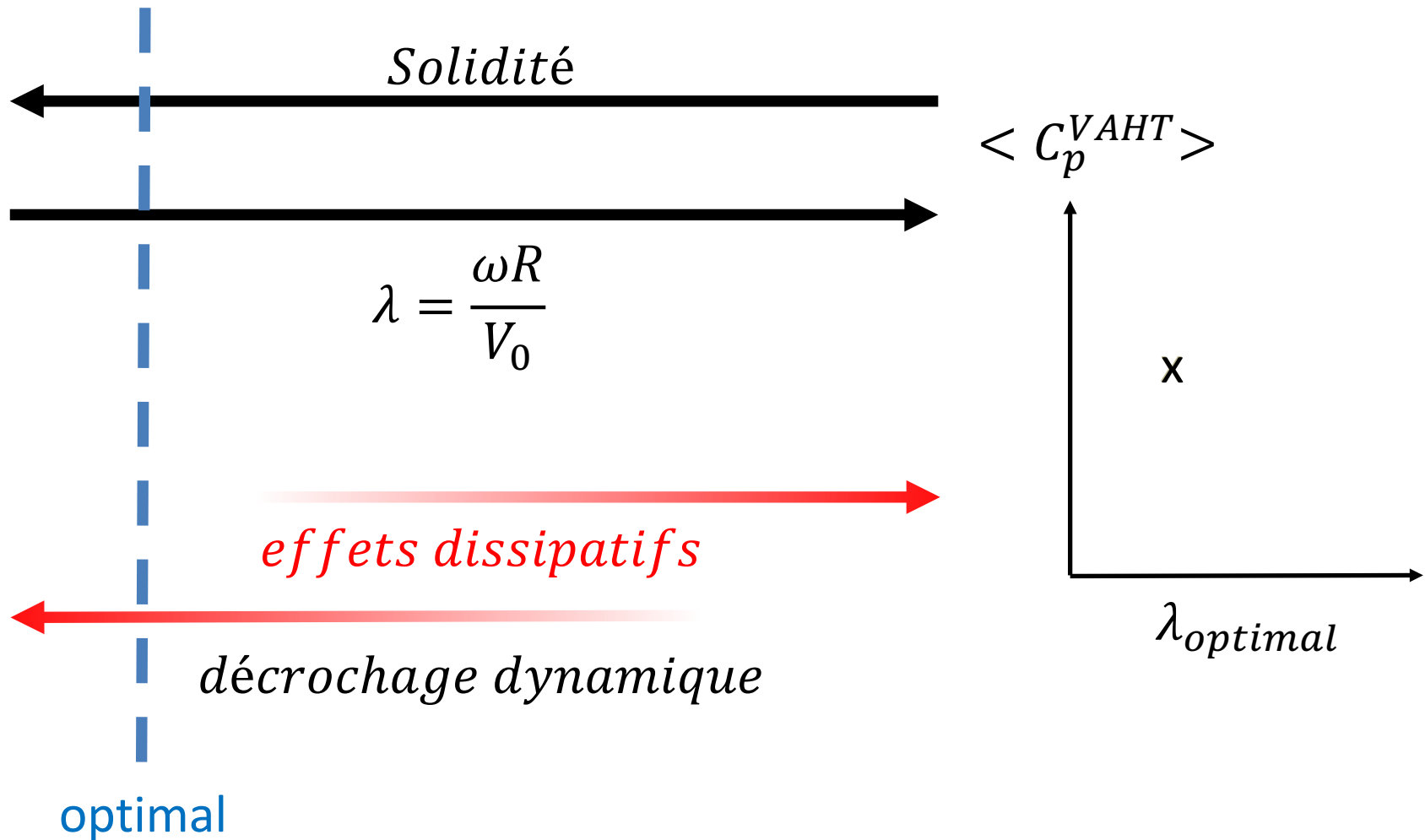
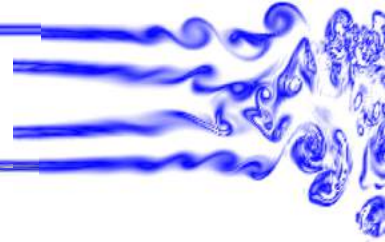


A **faible solidité**, pertes de performance plus marquées qu'en forte solidité :

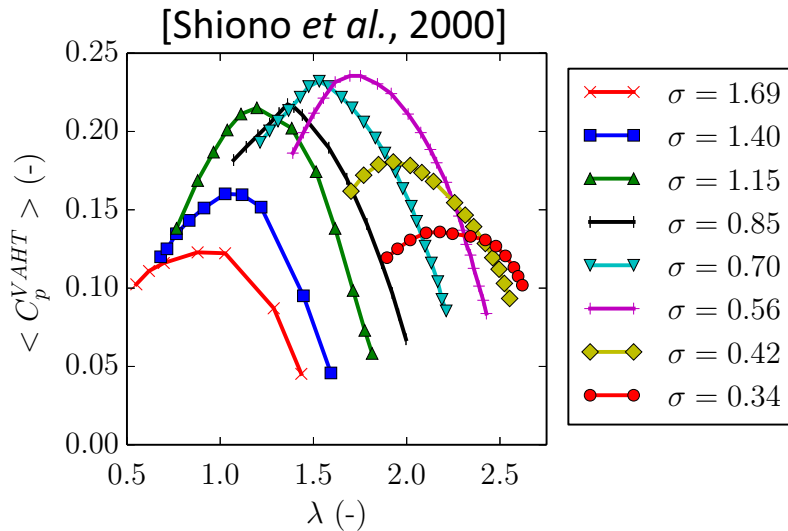
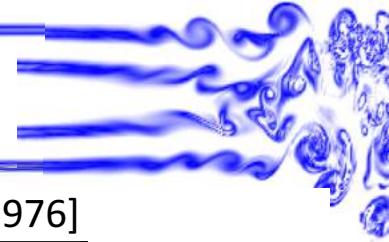
- extrémité de pale (en particulier sur le demi-disque aval)
- bras (long par rapport à la corde)

→ globalement turbine réelle moins performante à faible solidité

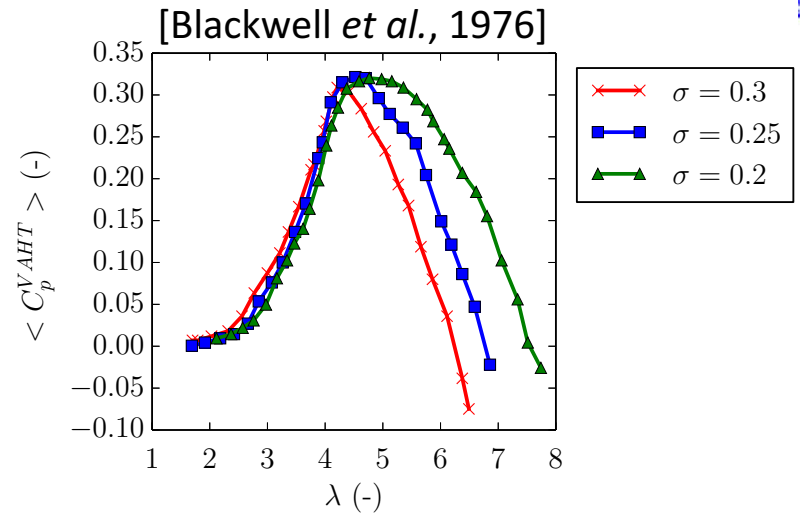
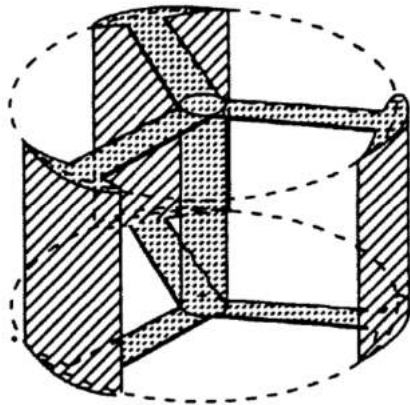
Synthèse des effets observés



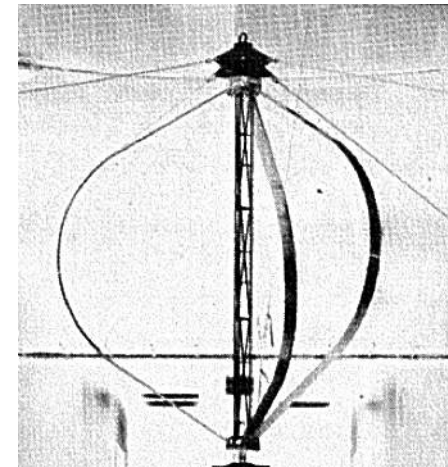
Synthèse des effets observés



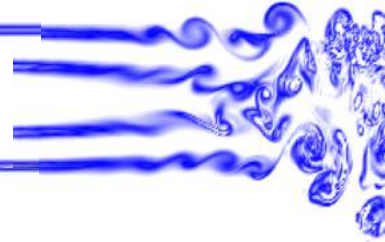
Turbine en H



Turbine Darrieus

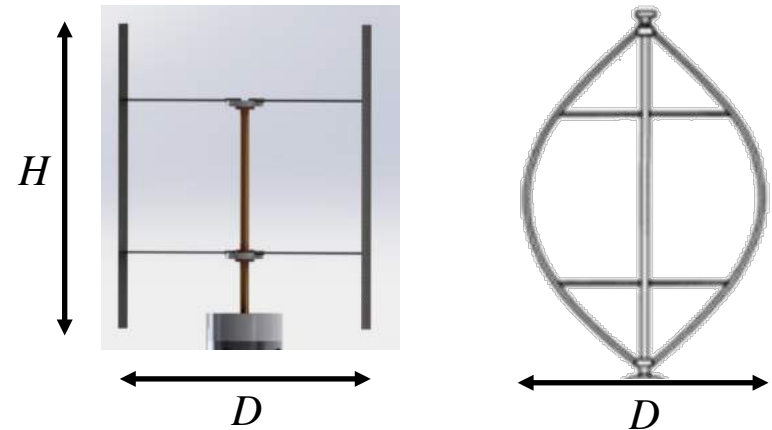


→ La différence s'explique par une réduction des effets dissipatifs (en particulier les extrémités de pale)



Des études précédentes :

- Réduire les pertes dissipatives comme pour la turbine de forme troposkine
- Préserver un maitre-couple important comme pour la turbine en H



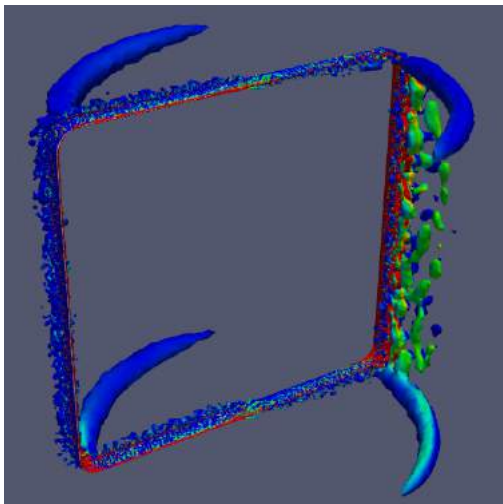
Nouvelle turbine OWLWIND (J.-L. Achard et al.)

- Pales verticales
- Pales raccordées à deux moyeux supérieurs et inférieurs par deux couples de bras horizontaux
- Raccords bras-pales arrondis d'étendue limitée (type aile en C)
- Pas d'arbre central remplacé par une structure porteuse externe

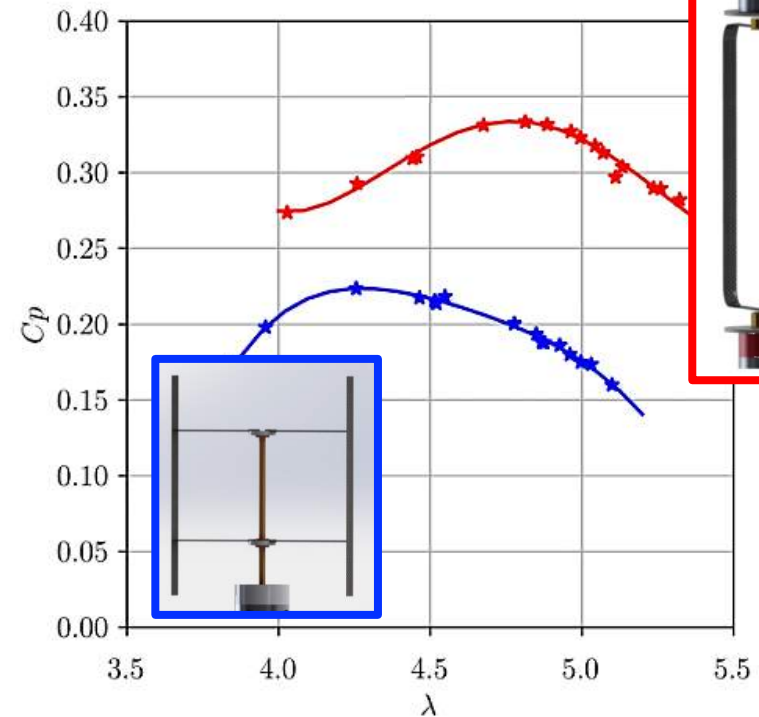
Perspectives : la turbine OWLWIND

Premiers tests de performance

- Test en soufflerie (ENSMA, Poitiers)
- Soutien Linksiem (SATT, Grenoble)
- Amélioration des performances obtenue avec la turbine OWLWIND



SGE de la turbine OWLWIND
(thèse M. Guilbot)



Suite...

- ANR « EFL2 » (porteur S. Barre) : test en configuration bi-rotor
- Thèse de M. Guilbot : Etude numérique des turbines OWLWIND (CIFRE HYDROQUEST)

Pour conclure

- Des simulations instationnaires (approche SGE) ont été réalisées pour étudier la performance des turbines à flux transverse
- Cela a permis une analyse locale des performances par rapport à des turbines « idéales »
- Performance optimale obtenue pour de faibles solidités à condition de limiter les effets dissipatifs
- Développement d'une nouvelle géométrie de turbine pour l'hydrolien, l'éolien flottant, ...

