

## 12. L'énergie éolienne

### 12.1 – Histoire de l'énergie éolienne

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

*Département de génie mécanique*

Valery J. Bouchard

# Question



ENR2020

- Quelle est la principale force qui induit le vent ?
  - A. La force gravitationnelle
  - B. La force de frottement
  - C. La force de torsion
  - D. La force de la lune
  - E. La force de pression

# Avant-propos

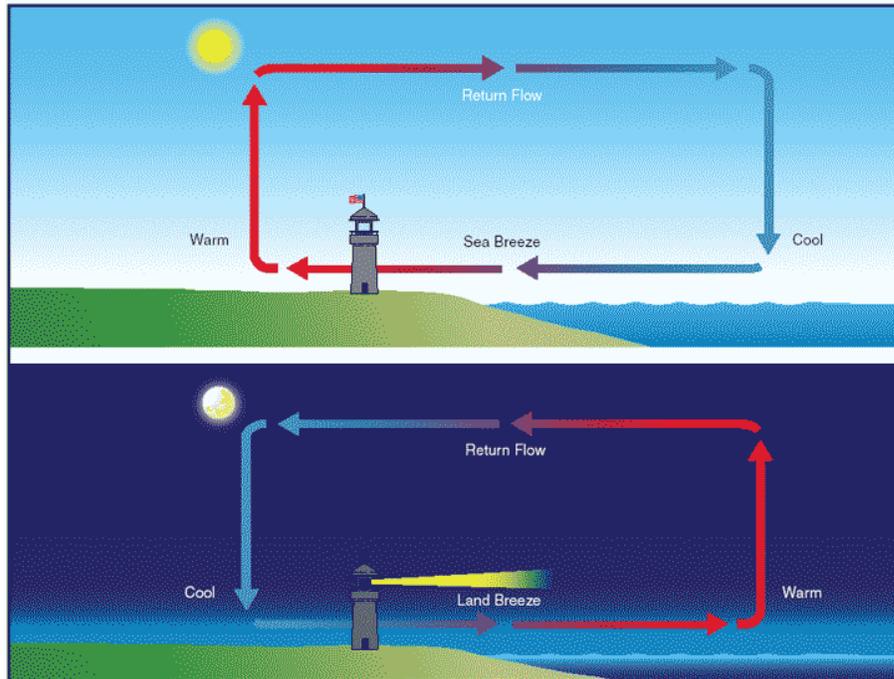
- Il existe trois forces principales qui sont liées au vent :
  - Force de pression qui est à l'origine du vent
  - Force de Coriolis
  - Force de frottement induit aux effets de la rugosité et de la viscosité de l'air

# Avant-propos

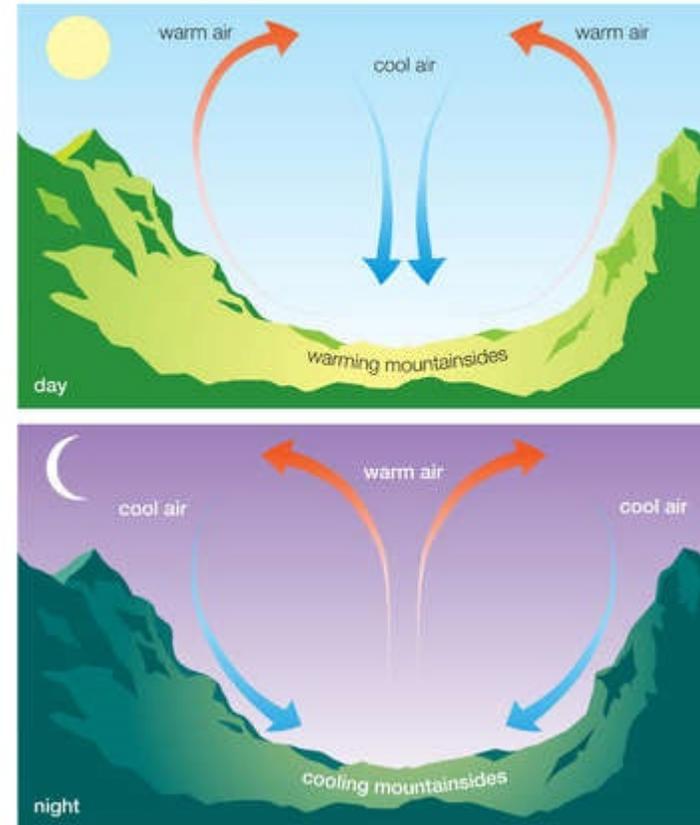
- Quels sont donc les principaux cycles de vents?
  - Interannuel
  - Annuel
  - Diurne

# Avant-propos

- Exemple de cycle diurne
  - Brise de terre et brise de mer
  - Vent de montagne et vallée



Valley and mountain breezes



# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- L'antiquité
- Évolution de l'énergie éolienne
- Conclusion

# Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs de la capsule***
- L'antiquité
- Évolution de l'énergie éolienne
- Conclusion

# Introduction et objectifs

- Le vent est l'une des plus vieilles ressources utilisées par l'Homme.
- Toutefois, son usage pour produire de l'énergie électrique est très récent.
- L'importante production d'électricité sur la durée de vie des projets éoliens – malgré l'intermittence de la ressource, l'entretien limité au cours de cette période et des frais d'opération (OPEX) faibles permettent une PRI, une VAN et un TRI intéressants (des projets viables) malgré le coût considérable de construction (CAPEX).

# Introduction et objectifs

- Objectifs de cette présentation
  - Présenter les **principaux** jalons de l'histoire de l'énergie éolienne.
  - Induire une réflexion sur :
    - Le fait que la plupart des principes aujourd'hui appliqués étaient connus, documentés, et démontrés avant la révolution industrielle mais principalement pour des applications de génération d'énergie mécanique et non électrique;
    - Le jaillissement soudain de la technologie à la fin du 20<sup>ème</sup> et au début 21<sup>ème</sup> siècles.

# Question



ENR2020

- Quelle est la part des quelques 5,4 million EJ/an que fournit le Soleil notre planète qui est convertie en énergie éolienne?

A. Moins de 0,5%

B. 5%

C. 10%

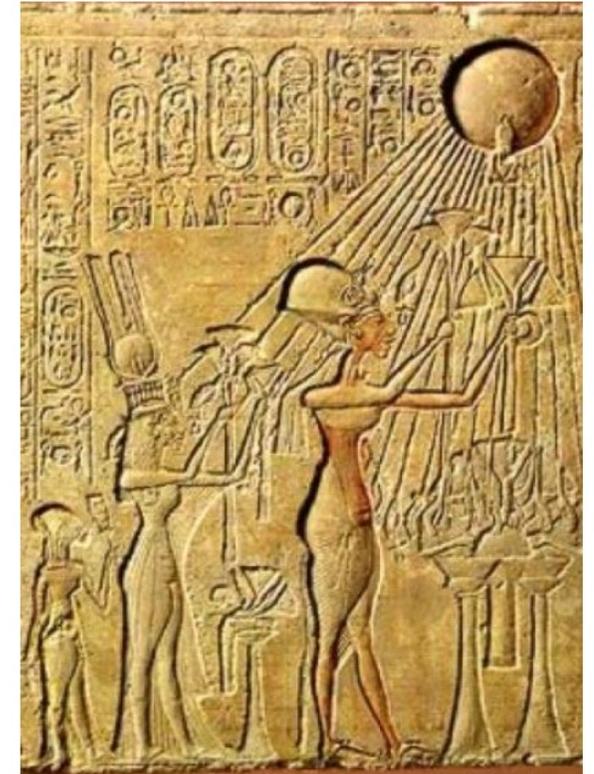
D. 15%

E. 25% et +

Wind and Waves : 11 700 EJ/an  
Solar radiation : 5 400 000 EJ/an  
Rapport = 0,00216 ou 0,2%  
10.1, page 13.

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- ***L'antiquité***
- Évolution de l'énergie éolienne
- Conclusion



# L'antiquité

- Première utilisation du vent par l'Homme; par l'aération et le séchage

BC

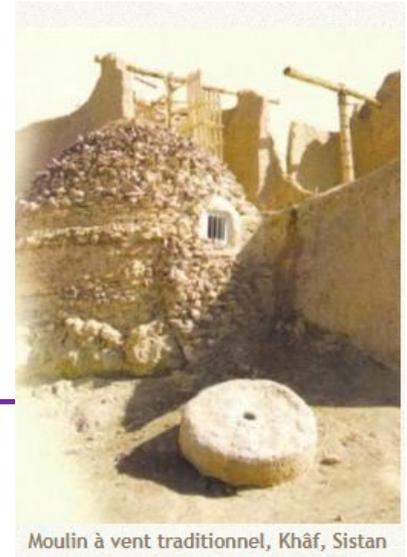
4000 BC

- Découverte du bateau à voile; exploration du monde, développement du commerce en facilitant les échanges mondiaux



- Invention du moulin à vent en Iran (Perse ou Égypte ancienne).

600 BC



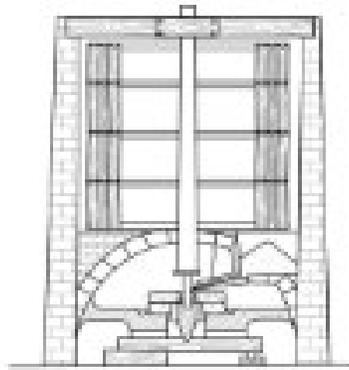
Moulin à vent traditionnel, Khâf, Sistan

<http://www.teheran.ir/spip.php?article181#gsc.tab=0>

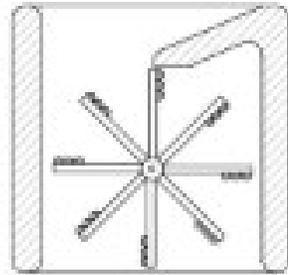
# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- L'antiquité
- ***L'évolution de l'énergie éolienne***
- Conclusion

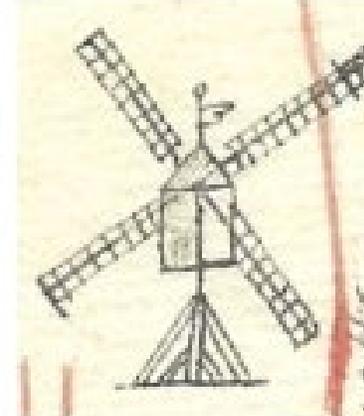
# Évolution de l'énergie éolienne



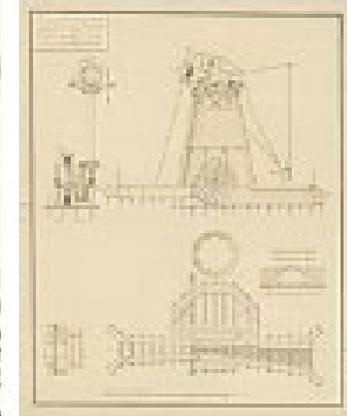
Moulin horizontal (à axe vertical),  
Perse



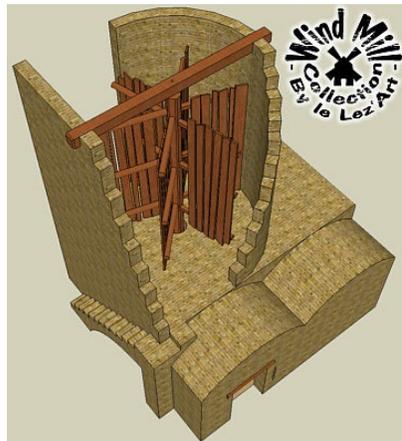
Moulin  
horizontal :  
Hooper's mill,  
Margate, Kent,  
xviii<sup>e</sup> siècle.



Moulin à  
chandelier assis  
par terre, **plan  
terrier 49220  
Brain-sur-  
Longuenée,  
année 1750.**



Dessin  
technique d'un  
moulin  
néerlandais,  
1793



Source : Wikipédia, moulin à vent , <http://lezart.free.fr/moulin19.htm>

# Évolution de l'énergie éolienne

- Généralisation du moulin à vent en Europe

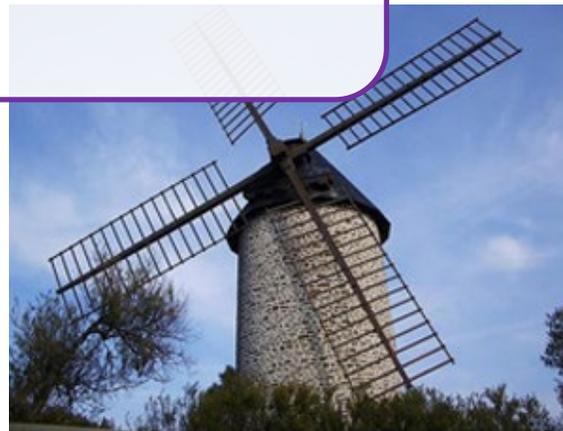
6<sup>e</sup> siècle

12<sup>e</sup> siècle

- Moulin à vent servant à pomper l'eau, moudre le grain, produire de l'huile végétale.

- Amélioration continue des modèles existants, meilleure portance aérodynamique.
- Apparition des turbines éoliennes au Canada au 18<sup>ème</sup> siècle

12<sup>e</sup> - 18<sup>e</sup> siècle



# Évolution de l'énergie éolienne

Moulin tour



Tjasker – 1600  
Pompage de l'eau



Modèle Cavier



Modèle Kandelou



Aile Berton - 1840

# Évolution de l'énergie éolienne

- “American water pumping windmills” pour pomper l'eau des puits sur les ranchs américain;
- Une image iconique;
- De simples planches de bois.

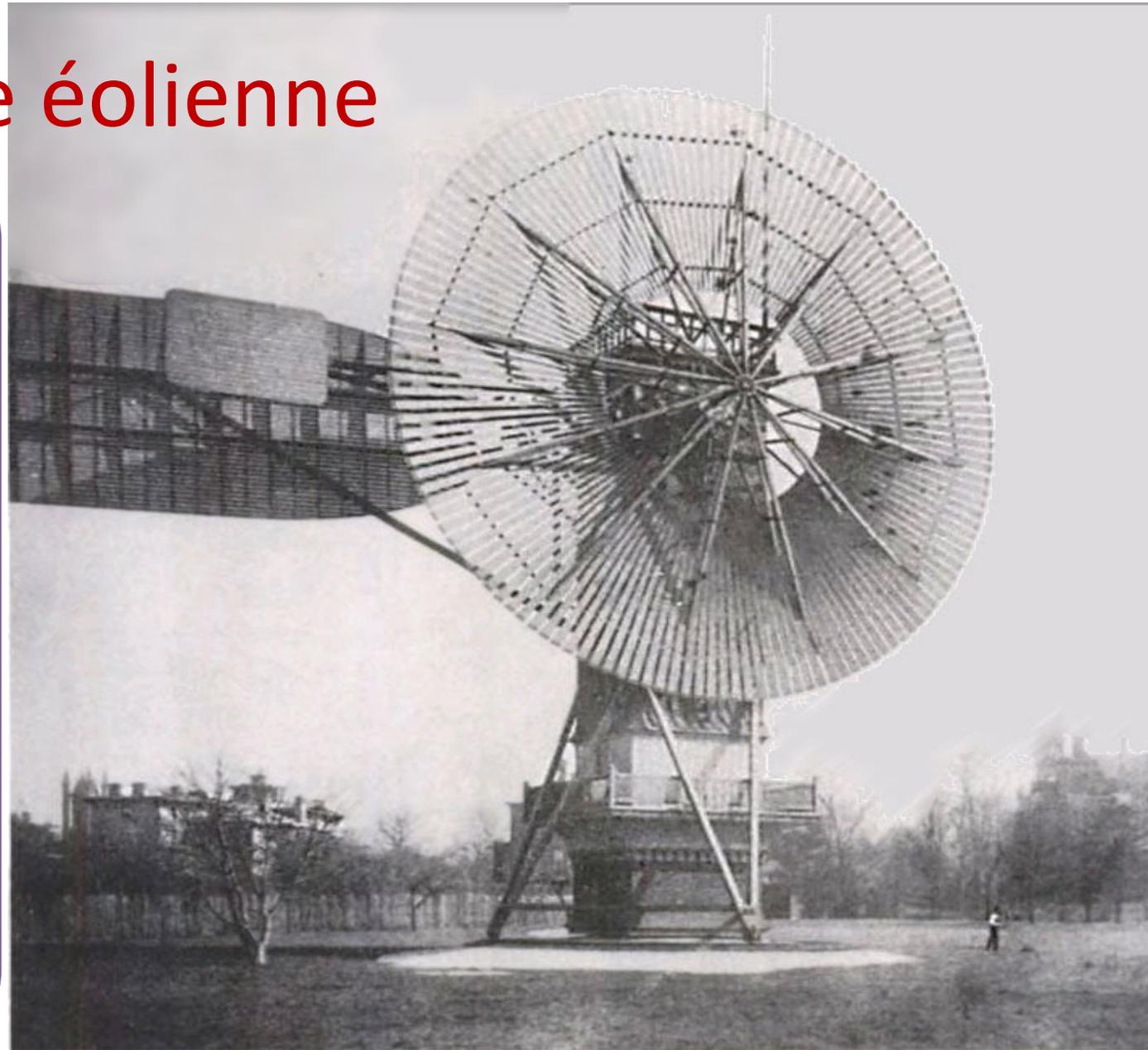
1800



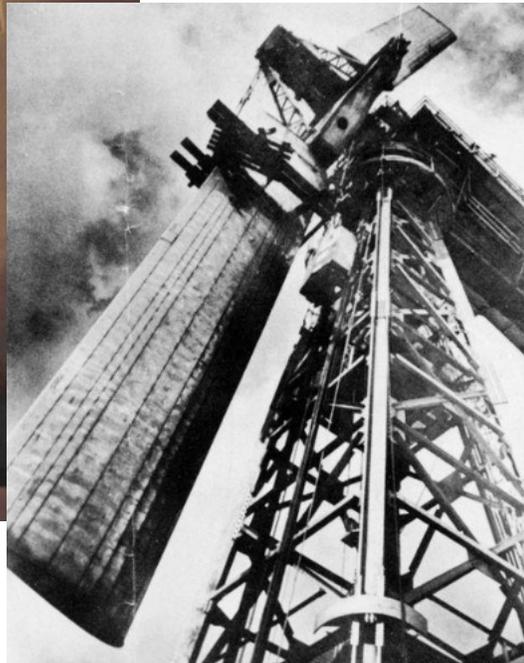
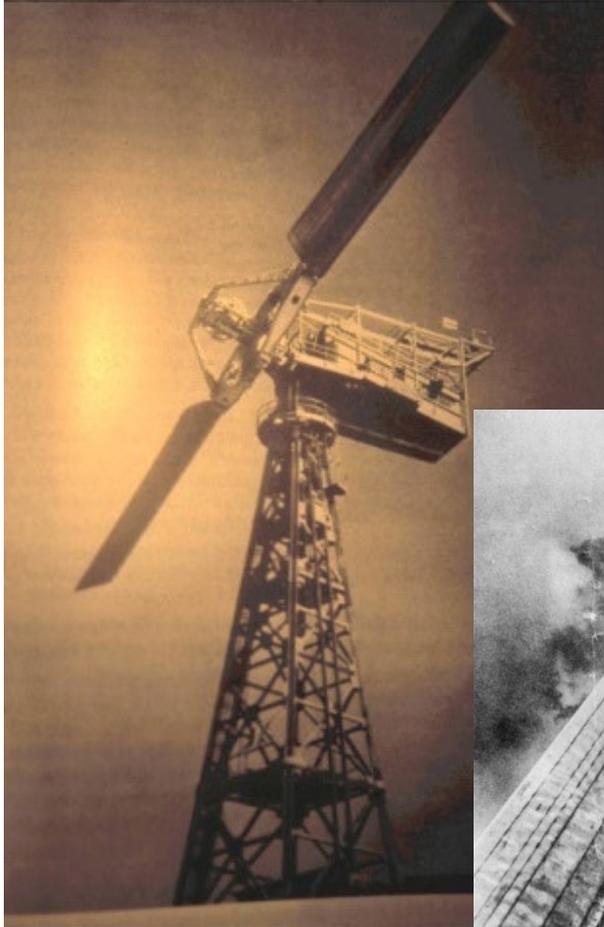
# Évolution de l'énergie éolienne

- L'américain Charles F. Brush, construit la première éolienne entièrement automatisée qui produit du courant pour 12 batteries, 350 lampes à filaments, 2 lampes à arc à charbon et 3 moteurs.
- Haute de 17 mètres et composée de 144 pales en cèdre, elle avait une puissance de 12 kWe.
- Jusqu'en 1920, la quasi-totalité des éoliennes seront munies de rotors à pales multiples.

1887-1888



# Évolution de l'énergie éolienne



- L'éolienne Smith-Putnam fut la première éolienne au monde de la taille de 1 MW. Construite en 1939 et connectée au réseau en 1941.
- Castleton, Vermont;
- 1,25 MW, 53 m diamètre, 36 m hauteur;
- Pales de 2,4 m x 20 m, 8 tonnes;
- Surface en inox;
- 1100 heures avant la rupture d'une aube en un point faible connu, qui n'avait pas été renforcé en raison des pénuries de matériaux en temps de guerre;
- Plus grande éolienne jamais construite jusqu'en 1979.

1939

# Question



ENR2020

- En quelle année fut installé le premier parc éolien en mer ?
  - A. 1951
  - B. 1971
  - C. 1991
  - D. 2001
  - E. Aucune de ces réponses

# Évolution de l'énergie éolienne

- Au début du XX<sup>e</sup> siècle, l'évolution des pales commence lorsque plusieurs ingénieurs (en aéronautique) cherchent une amélioration de l'efficacité, de la portance, de la production.

20 siècle



Aile profil Dekker avec aérofrein et système *patent*, moulin De Traanroeier, Oudeschild, Pays-Bas.



Aile mixte avec bord d'attaque Van Bussel (à droite) et système Ter Have (à gauche), Winterswijk, Pays-Bas.



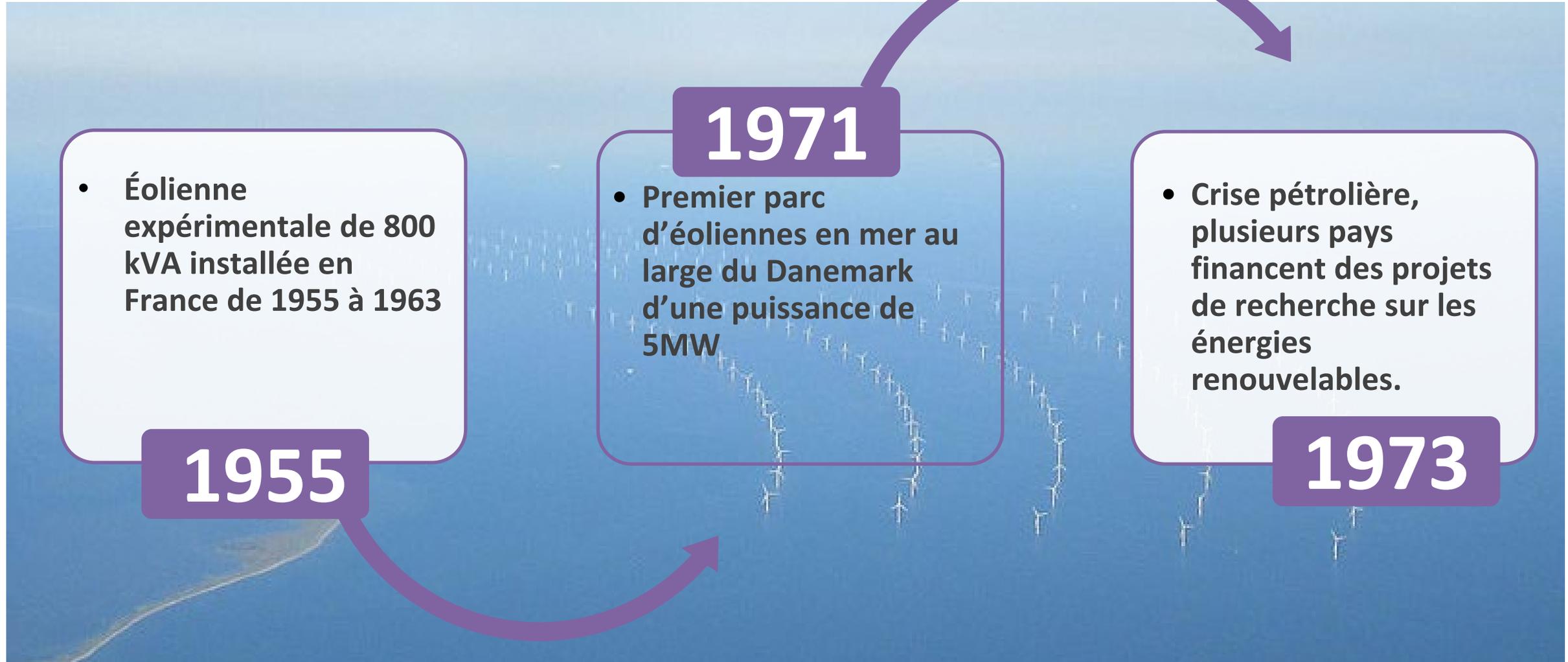
Système Fok et toile, Admiraal, Pays-Bas.



Ailes à système Bilau, Donsbrüggen, Kleve (Allemagne)

Source : Wikipédia, moulin à vent

# Évolution de l'énergie éolienne



# Évolution de l'énergie éolienne

- Au Québec
  - Cap-Chat (1988): «Éole»
    - diamètre = 64 m
    - longueur de corde = 2,4 m
    - puissance = 4 MW<sub>e</sub>Plus grande au monde à son époque
  
  - ENERCON E-126 (2008):
    - diamètre = 127 m
    - hauteur = 135 m
    - puissance = 7,58 kW<sub>e</sub>



# Évolution de l'énergie éolienne

- Au Québec
  - 2001: Plan HQ 2002-2006  
100 MW / an  
500 MW de 2001 à 2004
  - 2012: Puissance 1348 MW  
13 parcs opérationnels  
20 parcs en construction ou autorisation  
40 parcs en projets.



Seigneurie de Beupré, 2014, 364 MW, 164 éoliennes  
Riopel Design & Communications

# Évolution de l'énergie éolienne



- C'est au Royaume-Uni que le plus important parc éolien en mer installé dans le monde était situé, 175 éoliennes.
- Implanté à plus de 20 km des côtes sud-est du pays (entre Kent et Essex).
- London Array, inauguré le 4 juillet 2012.
- 630 MW installés.

2012

# Évolution de l'énergie éolienne

- Dogger Bank Wind Farm
- 130 km Off Shore
- 3 parcs de 100 Haliade X
- Capacité 3,6 GW
- GE, 700 tonnes, 12MW
- 5% de production au RU
- 2023-2025

2023



Source : Wikipédia, moulin à vent

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- L'antiquité
- Évolution de l'énergie éolienne
- ***Conclusion***

# Conclusion

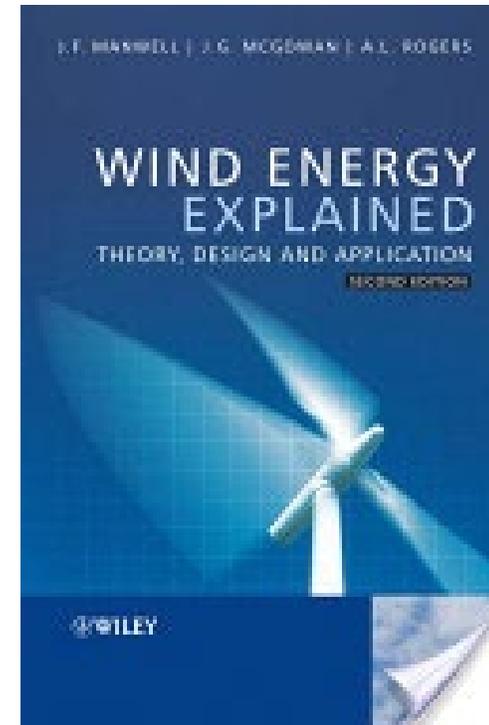
- Ce fut une énergie employée après le solaire dans l'histoire de l'humanité – les Chinois – 4000 BC – les premiers voiliers;
- Les **premières éoliennes** furent perses, 700-600 BC;
- La première **éolienne électrique** fut construite en 1887-1888;
- La production de puissance, à partir de l'énergie éolienne, s'est avivée **après la crise du pétrole**;
- Une forme de production qui constitue l'un des piliers de la transition énergétique.

# Cours sur le web

- Université de Strasbourg (Jaques Ganglof), 1h45:
  - <https://www.youtube.com/watch?v=CFihYeljByA>
- Présentation de Nicolas Sougnez
  - <https://www.youtube.com/watch?v=52zaZH1id2U>
- Cours de Christian Masson, ÉTS, SYS847 Technologie éolienne
- Cours de Adrian Ilinca, UQAR, MIR70808 Atelier sur l'énergie éolienne (en ligne)

# Livres

- J. F. Manwell, 2009. *Wind energy explained theory, design and application*, 2nd ed.. Chichester, U.K.: Wiley, xii, 689 p.





**Merci de votre attention !**

Si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

# Période de questions

