

1. Energie éolienne moderne et ses origines

1.1 Histoire de l'énergie éolienne



Hussein Ibrahim, Ph.D. - Antoine Brégaint, M.Sc.A.

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Évolution de l'énergie éolienne dans le monde
- Évolution de l'énergie éolienne au Canada
- L'énergie éolienne en mer (Offshore)
- Pertinence de l'énergie éolienne
- Conclusion

Plan de cette présentation

- ***Introduction et objectifs***
- Évolution de l'énergie éolienne dans le monde
- Évolution de l'énergie éolienne au Canada
- L'énergie éolienne en mer (Offshore)
- Pertinence 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.
- Les formes et usages de l'énergie éolienne ont bien évolué au fil des siècles pour arriver à ce que nous connaissons aujourd'hui.

Introduction et objectifs

- L'objectif de cette présentation est de présenter les différents jalons de l'histoire de l'énergie éolienne mondiale et canadienne.
- Elle a également pour but de nourrir la réflexion sur l'utilisation de cette ressource dont les principes étaient connus, documentés et démontrés bien avant la révolution industrielle à des fins de génération d'énergie mécanique.

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- ***Évolution de l'énergie éolienne dans le monde***
- Évolution de l'énergie éolienne au Canada
- L'énergie éolienne maritime (Offshore)
- Pertinence de l'énergie éolienne
- Conclusion

Question

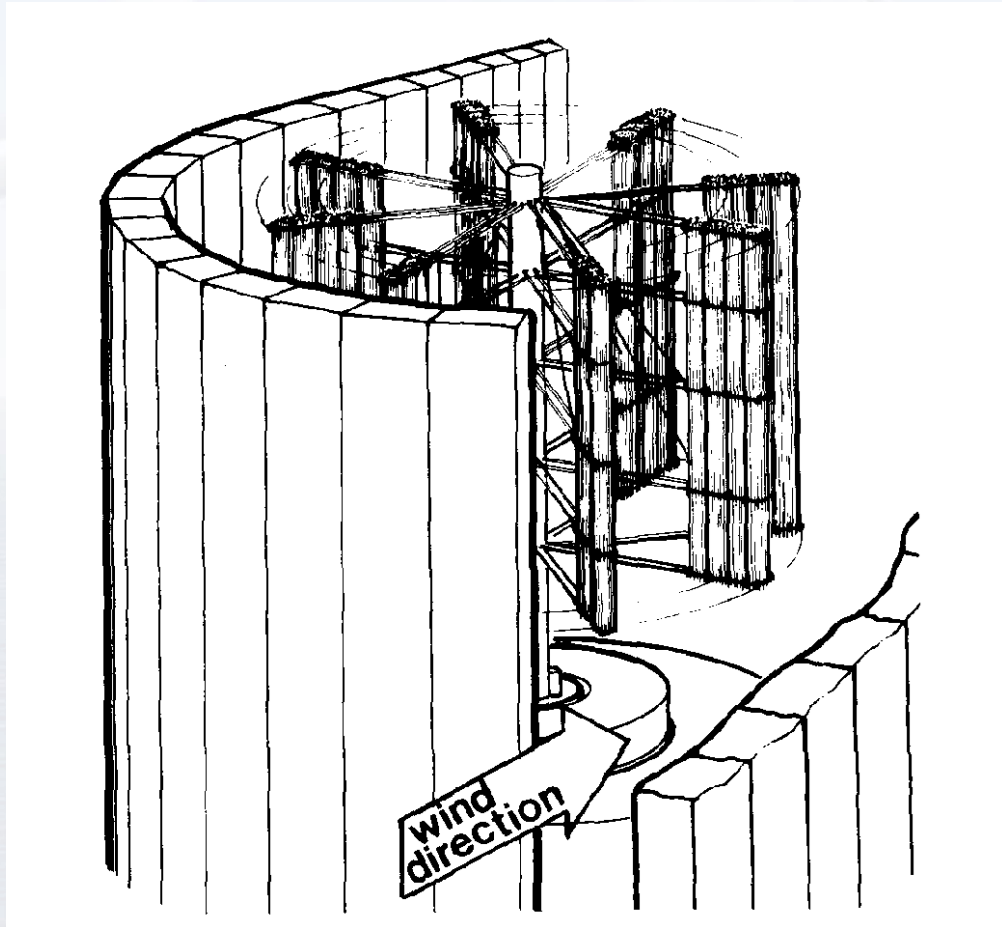
- À quand peut-on dater la première utilisation de moulin à vent ?
 - A. 7^{ème} siècle
 - B. 10^{ème} siècle
 - C. 12^{ème} siècle
 - D. 15^{ème} siècle
 - E. 17^{ème} siècle

Évolution de l'énergie éolienne dans le monde



- Découverte du bateau à voile (4000 avant JC)
 - Utilisation du vent
 - Exploration du monde
 - Développement des échanges commerciaux

Évolution de l'énergie éolienne dans le monde



- Panémone : Moulin horizontal perse (dès 620)
 - Machine à axe vertical
 - L'éolienne est confinée à l'intérieur du moulin
 - Utilise la traînée
 - Utilisée pour moudre le grain

Évolution de l'énergie éolienne dans le monde



- Généralisation du moulin à vent en Europe (12^{ème} siècle)
 - En premier dans les pays maritimes du Nord : Grande-Bretagne, Pays-Bas
 - Puis dans ceux bordant l'Atlantique, la mer du Nord et la mer Baltique : France, Portugal, Belgique, Allemagne, Danemark
 - Utilisée pour moulin le grain, pomper l'eau ou produire de l'huile végétale

Évolution de l'énergie éolienne dans le monde



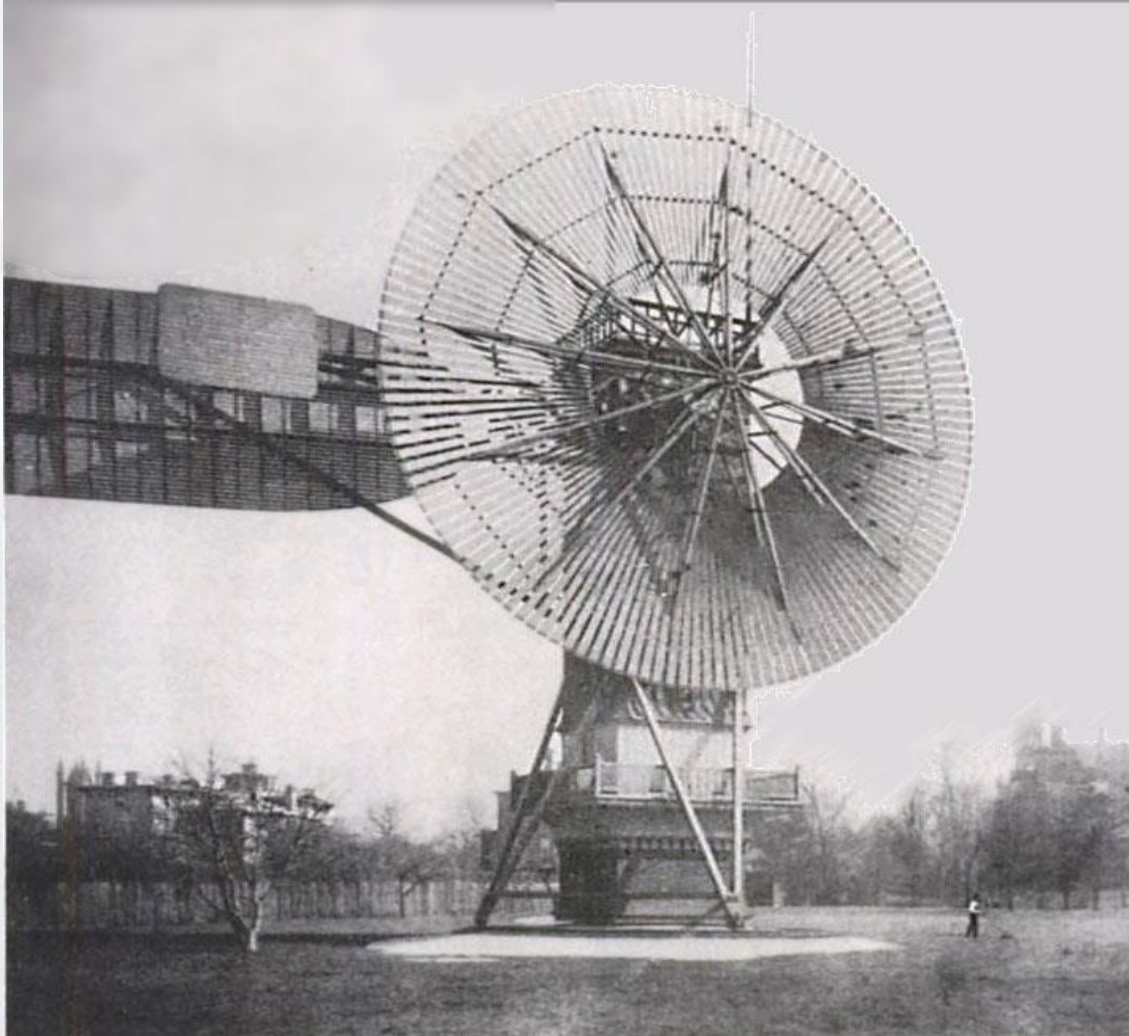
- Amélioration continue des moulins européens (1600 - 1800)
 - Machine à axe horizontal
 - Rotor de 4 pales (avec gauchissement et profilées)
 - Mécanisme d'orientation au vent
 - Utilisée pour mouliner le grain et pomper l'eau (Hollande)

Évolution de l'énergie éolienne dans le monde



- « American water pumping windmills » (États-Unis, 1850)
 - Machine à axe horizontal
 - Rotor multiples (planche de bois)
 - Utilisée pour pomper l'eau

Évolution de l'énergie éolienne dans le monde



- Éolienne de Charles F. Brush (États-Unis, 1880)
 - Première éolienne à convertir l'énergie mécanique du vent en énergie électrique
 - Machine à axe horizontal
 - Composée de 144 pales
 - Haute de 17 mètres
 - Puissance de 12 kW
 - Entièrement automatisée
 - Production de courant pour 12 batteries, 350 lampes à filaments, 2 lampes à arc à charbon et 3 moteurs

Évolution de l'énergie éolienne dans le monde



- Éolienne de Poul La Cour (Danemark, 1897)
 - Moulin à axe horizontal
 - Utilisée pour la production d'hydrogène

Évolution de l'énergie éolienne dans le monde



- Éolienne de Gedser (Danemark, 1956)
 - Machine à axe horizontal
 - Rotor tri-pales face au vent
 - Contrôle par décrochage aérodynamique (pas fixe)
 - Frein aérodynamique en bord de pale
 - Transformation en puissance électrique (Génératrice asynchrone)
 - Concept danois classique

Évolution de l'énergie éolienne dans le monde



- Éolienne expérimentale (France, 1955-1963)
 - 800 kVA
 - 30 m de diamètre
 - 46 m de haut

Évolution de l'énergie éolienne dans le monde

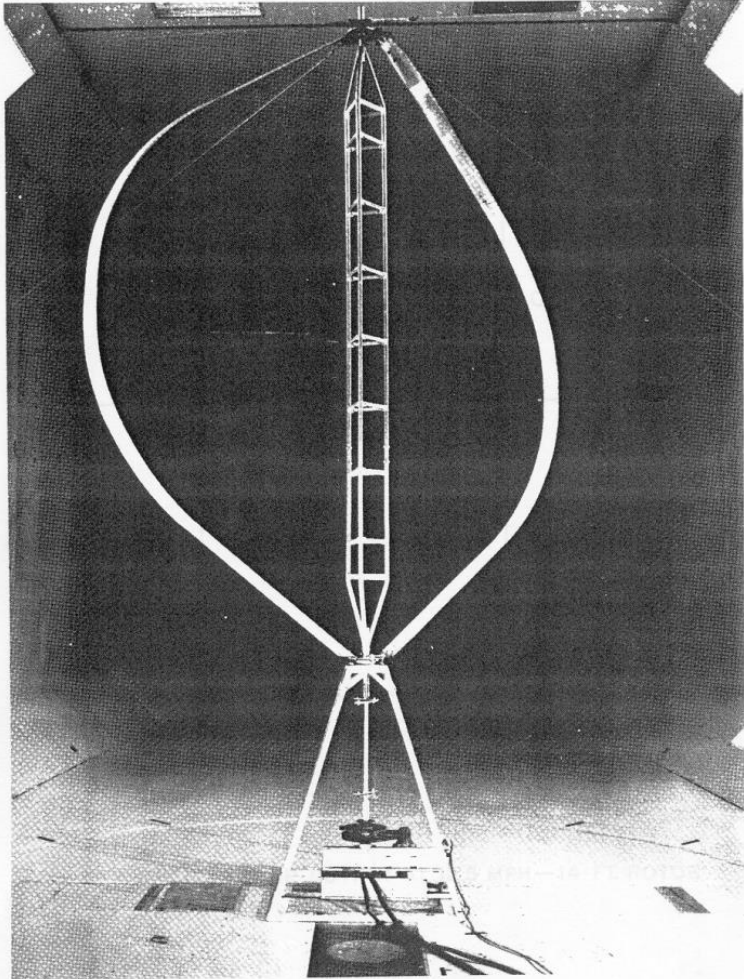


- Développement californien (États-Unis, 1980-85)
 - 1 000 éoliennes de type danois classique (≈ 50 kW)
 - 50 % d'origine danoise
 - Mise en place d'un programme de crédit d'impôts sur les investissements éoliens

Plan de cette présentation

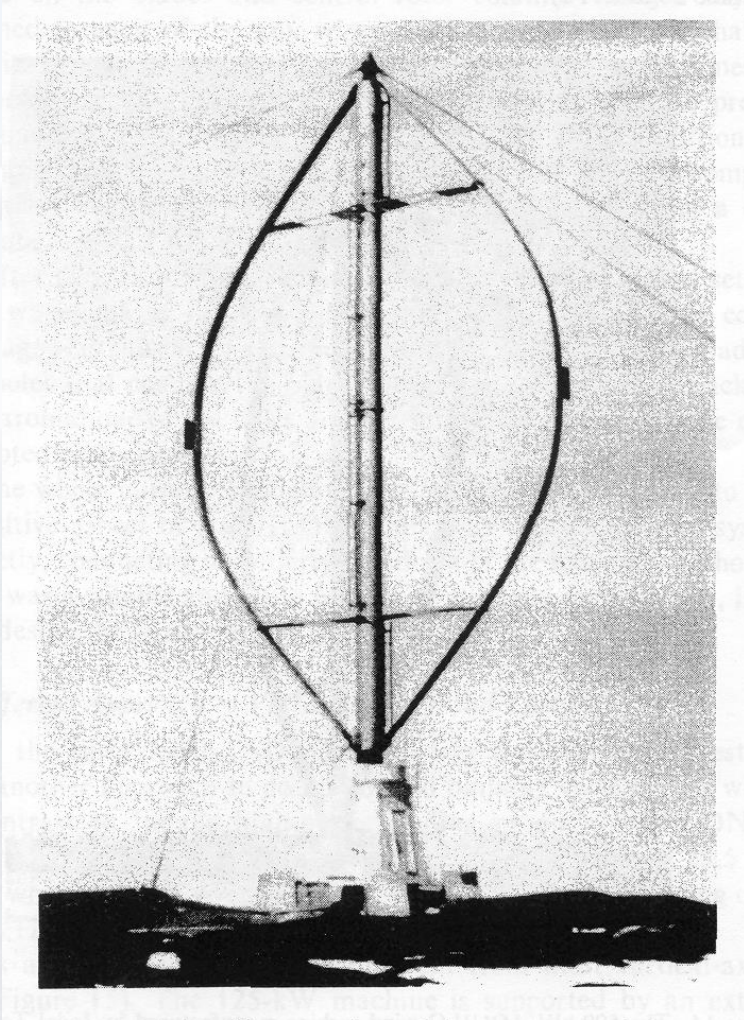
- Introduction et objectifs
- Évolution de l'énergie éolienne dans le monde
- ***Évolution de l'énergie éolienne au Canada***
- L'énergie éolienne en mer (Offshore)
- Pertinence de l'énergie éolienne
- Conclusion

Évolution de l'énergie éolienne au Canada



- 1970 : Début du programme de recherche
 - Éoliennes à axe vertical
 - Essais en soufflerie (NRC, Ottawa)
 - 4.25 m de diamètre
 - 500 W

Évolution de l'énergie éolienne au Canada



- 1977 : Première machine pour réseau principal
 - Installée aux Îles de la Madeleine (DAF Indal Ltd.)
 - Prototype
 - 224 kW
- 1977 : Première machine commerciale (DAF Indal Ltd.)
 - 50 kW

Évolution de l'énergie éolienne au Canada



- 1988 : Éole : la plus grande éolienne à axe vertical au monde
 - Installée à Cap-Chat (Gaspésie)
 - Diamètre : 64 m
 - Hauteur : 96 m
 - Corde : 2.4 m
 - Puissance : 4 MW

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Évolution de l'énergie éolienne dans le monde
- Évolution de l'énergie éolienne au Canada
- ***L'énergie éolienne en mer (Offshore)***
- Pertinence de l'énergie éolienne
- Conclusion

Question

- En quelle année a été mis en service le premier parc éolien *offshore* au monde ?
- A. 1951
- B. 1971
- C. 1991
- D. 2001
- E. 2011

L'énergie éolienne en mer (Offshore)



- 1991 : Mise en service du premier parc éolien en mer (Vindeby, Danemark)
 - 11 turbines
 - 4.95 MW
 - Démantelé en 2017

L'énergie éolienne en mer (Offshore)

- 2012 : Inauguration du plus grand parc d'éolienne offshore au monde à ce jour (Royaume-Uni)

- 175 éoliennes
- 630 MW de puissance installée
- Implanté à plus de 20 km des côtes sud-est du pays (entre Kent et Essex).
- Deux plateformes pour rehausser le courant

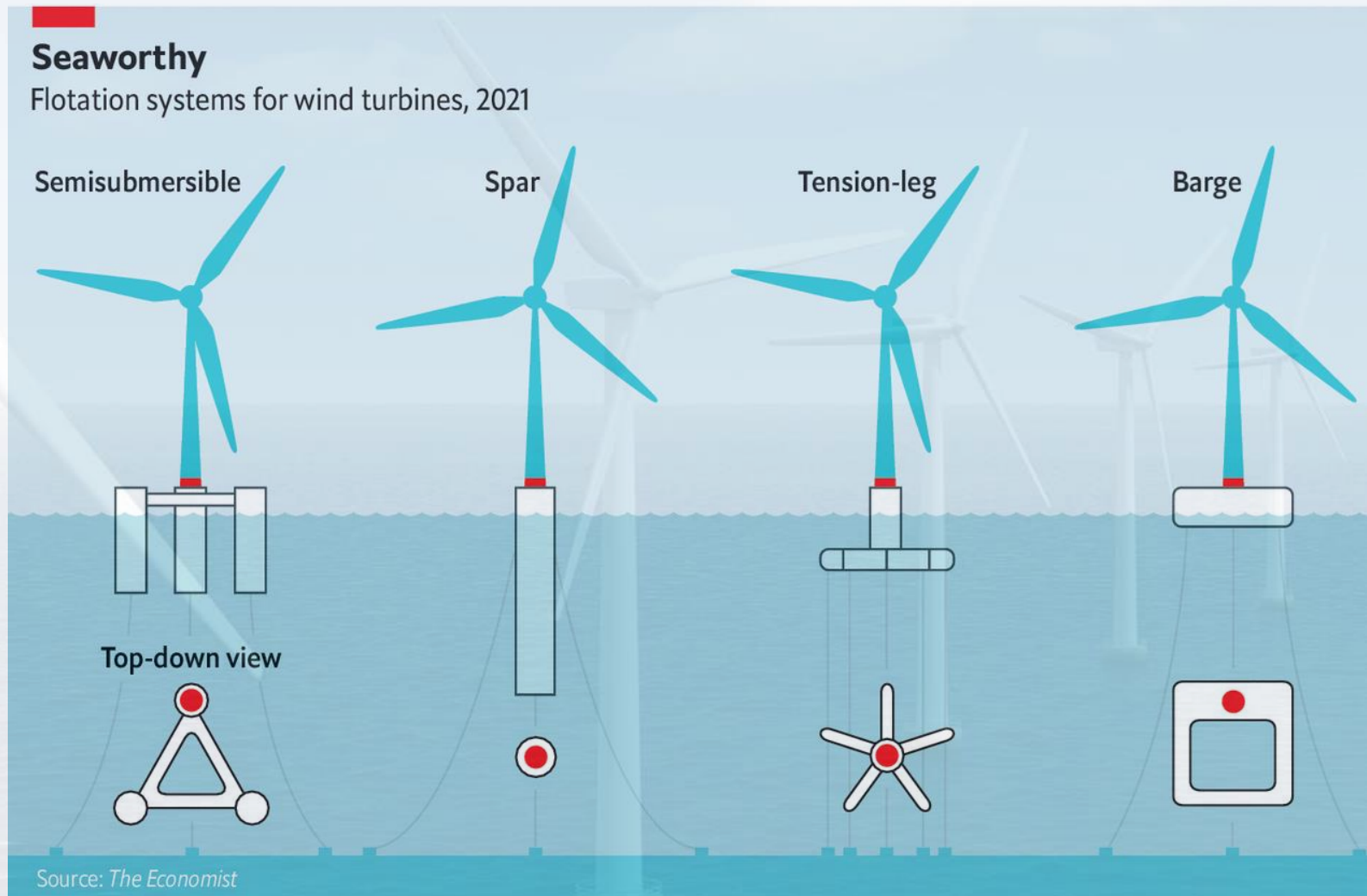


L'énergie éolienne en mer (Offshore)



- 2017 : Mise en service du premier parc éolien flottant en mer (Ecosse)
 - 5 turbines
 - 30 MW
 - Mâts de 253 m dont 175 m sous le niveau de l'eau

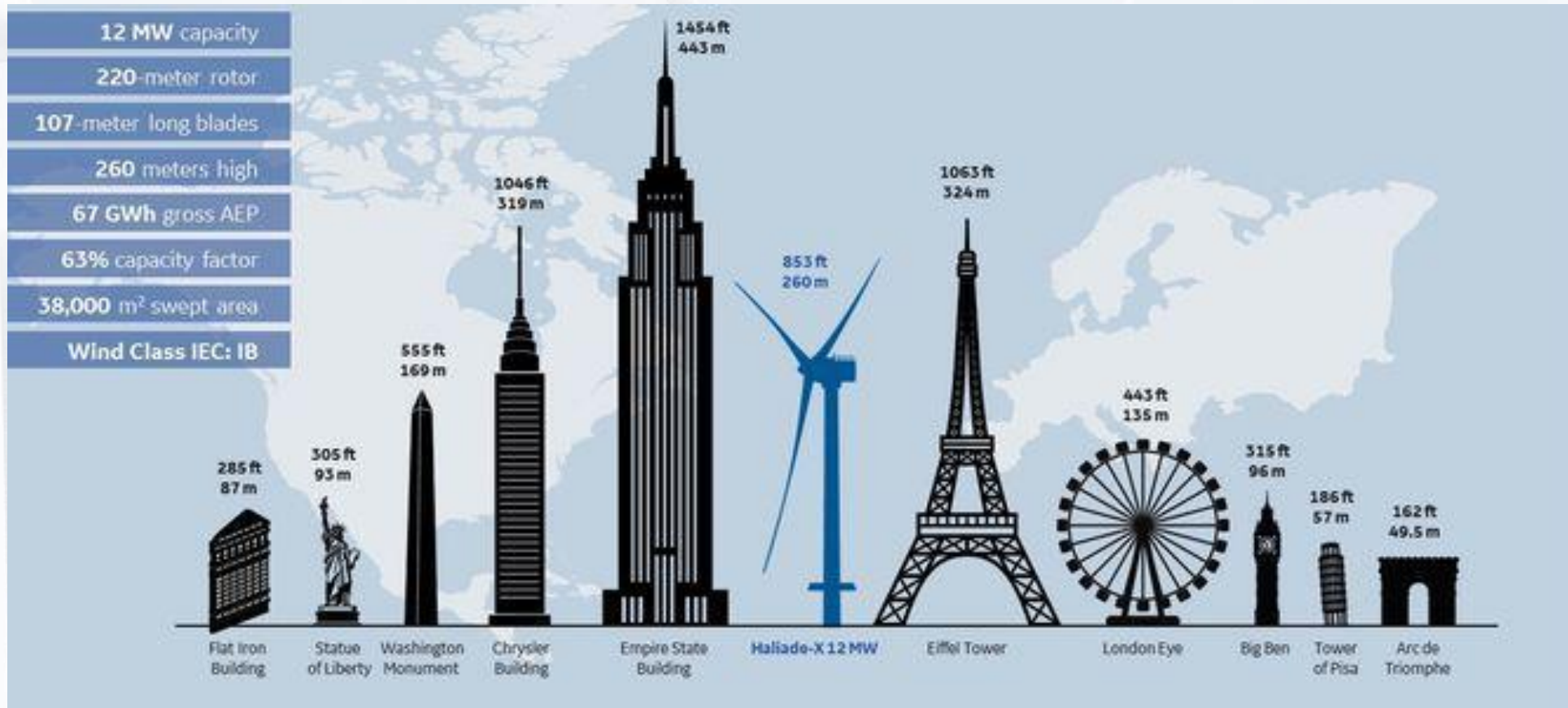
L'énergie éolienne en mer (Offshore)



The Economist

L'énergie éolienne en mer (Offshore)

- 2023 : Haliade X : Mise en service de la plus grande éolienne au monde ?



Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Évolution de l'énergie éolienne dans le monde
- Évolution de l'énergie éolienne au Canada
- L'énergie éolienne en mer (Offshore)
- ***Pertinence de l'énergie éolienne***
- Conclusion

Pertinence de l'énergie éolienne : Monde

- Avantages
 - Augmente l'autonomie par rapport au charbon/pétrole
 - Pas d'émission de CO₂ (GES) lors du cycle d'opération et très faible lors du cycle de vie global de l'éolienne (environ 10 grammes par kWh produit)
 - Créateur d'emplois
 - Coût du kWh éolien compétitif par rapport aux moyens de production conventionnels
- Désavantages
 - Bruit
 - Perturbation visuelle
 - Production fluctuante et aléatoire
 - Capacité de prévision
 - Réseau flexible

Pertinence de l'énergie éolienne : Canada-Québec

- Contexte politique favorable
 - En 2021, 3885.3 MW de puissance installée sur son territoire et intégrée au réseau d'Hydro-Québec
 - En 2022, le Québec devrait disposer de 4 000 MW d'énergie éolienne, ce qui équivaut aux besoins en électricité d'environ 1 million de maison
- Contexte énergétique québécois favorable
 - Gestion flexible via les réservoirs hydrauliques
 - Concordance vent/demande
 - Présence d'éoliennes en pointe (chauffage)
 - Préservation du potentiel hydraulique des réservoirs
 - Implantation modulaire et rapide
 - Équilibre énergétique à court terme
 - Autonomie régionale
 - Réduction des pertes de transport
 - Revitalisation des régions

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Évolution de l'énergie éolienne dans le monde
- Évolution de l'énergie éolienne au Canada
- L'énergie éolienne en mer (Offshore)
- Pertinence de l'énergie éolienne
- ***Conclusion***

Conclusion

- La première utilisation de l'énergie éolienne remonte à 4000 ans avant JC pour les premiers voiliers chinois.
- La première utilisation d'éoliennes remonte en 620 en Perse.
- La toute première éolienne électrique fut construite en 1887-1888.
- Ce type de production est un des piliers de la transition énergétique.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION !



MERCI



Questions ?

Hussein IBRAHIM, Ph.D

Tél: 418-962-9848 # 340

cc-hussein.ibrahim@etsmtl.ca

Hussein_ibrahim01@uqar.ca

Hussein.ibrahim@itmi.ca