

12. L'énergie éolienne

12.5 – *Impacts des éoliennes*

Adrian Ilinca, Ph.D., ing., Professeur

LREE, Université du Québec à Rimouski

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

Groupe t3e, Département de génie mécanique

Mathieu Patin, M.ing.

Antoine Brégaint, M.Sc.A.

Question



ENR2020

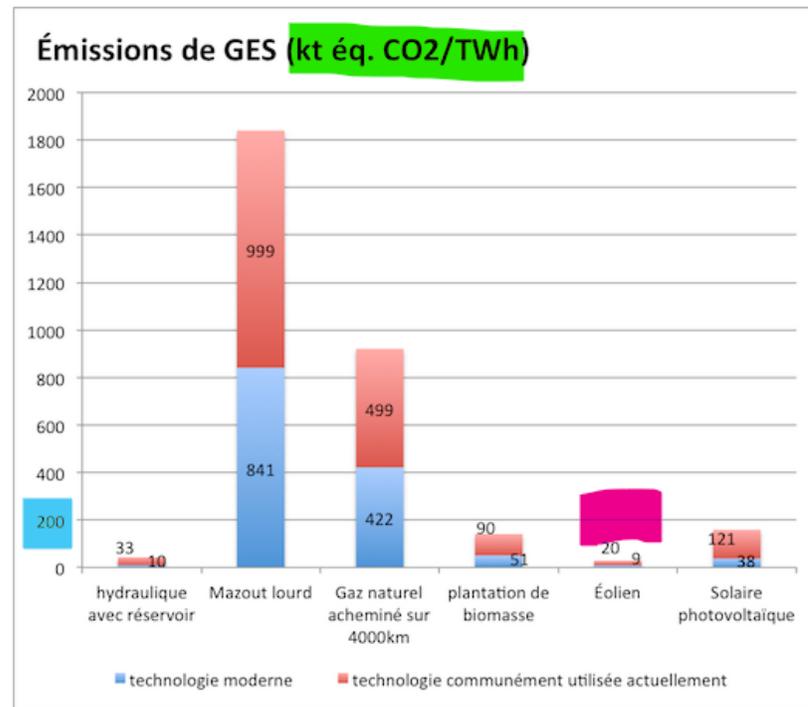
- Selon vous à quoi correspondent les émissions de GES moyennes des éoliennes sur un cycle de vie ?
 - Entre 400 et 500 g de CO₂e/kWh
 - Entre 100 et 200 g de CO₂e/kWh
 - Entre 50 et 90 g de CO₂e/kWh
 - Entre 20 et 30 g de CO₂e/kWh
 - Entre 10 et 19 g de CO₂e/kWh



Discussion

économiser, est de seulement quelques mois. Pour une durée de vie de 15 à 20 ans, une éolienne produit entre 10 et 60 fois plus d'énergie qu'elle n'en a consommé pour sa fabrication. On considère qu'une éolienne génère en moyenne environ 55 g de CO₂ par kWh.

L'énergie hydrolienne, dont la technologie est proche de l'éolien, bénéficie également d'une bonne performance environnementale. Les émissions moyennes produites lors du cycle de vie des hydroliennes sont de seulement 8 g de CO₂ eq/kWh. Cela correspond à environ un centième des émissions de GES émises par un système conventionnel de production d'électricité (centrale au charbon, pétrole, gaz).



Source : Hydro-Québec

En jaune, on indique 55 gCO₂eq/ kWh produit.

En vert, on indique des unités en kt/TWh ou en t/GWh ou en kg/MWh ou g/kWh, ok mais pourquoi ces unités?

En bleu, le premier échelon est à 200.

En rose, on indique 20 gCO₂eq/kWh pour les technologies anciennes et 9 gCO₂eq/kWh pour les plus modernes.

Donc, **le texte contredit le graphique!**

Aussi, dans tout le texte il n'y a **aucune citation** du graphique, **aucune présentation** de celui-ci ni **aucune discussion**. Vous ne ferez pas cela dans l'article que vous aurez à remettre dans le cadre du cours. Trois erreurs impardonnables.

https://www.equiterre.org/sites/fichiers/fiche-03_1_0.pdf

Discussion

Eolien

Une Analyse de Cycle de Vie réalisée pour l'ADEME en 2017 a permis de fournir des données précises sur les impacts environnementaux de la production éolienne avec les spécificités du parc français installé sur terre et prévu en mer [331]. Les différentes étapes du cycle de vie d'une installation éolienne sont incluses dans les frontières du système :

- Fabrication des composants du système
- Installation du système éolien
- Utilisation
- Maintenance
- Désinstallation, traitement en fin de vie

Différentes unités fonctionnelles ont été considérées selon la localisation de l'éolienne :

- sur terre : «1 kilowattheure issu de la capacité de production éolienne française terrestre en 2013, délivré sur le réseau électrique, avec un facteur de charge moyen calculé sur les 5 dernières années (2010-2014), pour une durée de vie de parc de 20 ans»
- en mer : «1 kilowattheure issu de la capacité de production éolienne française maritime entre 2020 et 2023, délivré sur le réseau électrique, avec un facteur de charge moyen fondé sur les estimations futures, pour une durée de vie de parc de 20 ans»

Les résultats* calculés pour l'ensemble des parcs éoliens terrestres et maritimes français, sur les phases de fabrication et d'usage / production d'énergie confirment les faibles émissions de CO₂ :

- Eolienne terrestre : taux d'émission de 14,1 g CO₂ eq / kWh
- Eolien en mer : taux d'émission de 15,6 g CO₂ eq / kWh

Ces émissions caractérisant les parcs français sont analogues à celles rapportées par les études internationales. La phase de fabrication des composants est la principale source des impacts, notamment en raison de la consommation d'énergie.

() Remarque : afin d'assurer une cohérence de périmètre de comptabilisation avec les autres facteurs d'émissions « énergie » présents dans la Base Carbone®, les phases de démantèlement et fin de vie des ouvrages ne sont pas intégrées dans les facteurs d'émission retenus.*

Il est toujours utile de confronter deux sources d'information

https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?renouvelable.htm

L'ADEME est une source fiable.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Impacts économiques
- Impacts environnementaux
- Impacts sociaux
- Conclusion



Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs de la capsule***
- Impacts économiques
- Impacts environnementaux
- Impacts sociaux
- Conclusion

Introduction et objectifs

- L'énergie éolienne fut, jusqu'à tout récemment, celle qui parmi les renouvelables, connaissait le taux d'implantation le plus élevé au monde ($\approx 1980-2000$);
- À travers le monde, l'installation d'éoliennes est cependant contestée, et ce en raison de l'impact trop important qu'elles auraient sur l'environnement et les riverains;
- Pour déterminer ce qu'il en est exactement, une étude de ces impacts est nécessaire.

Introduction et objectifs

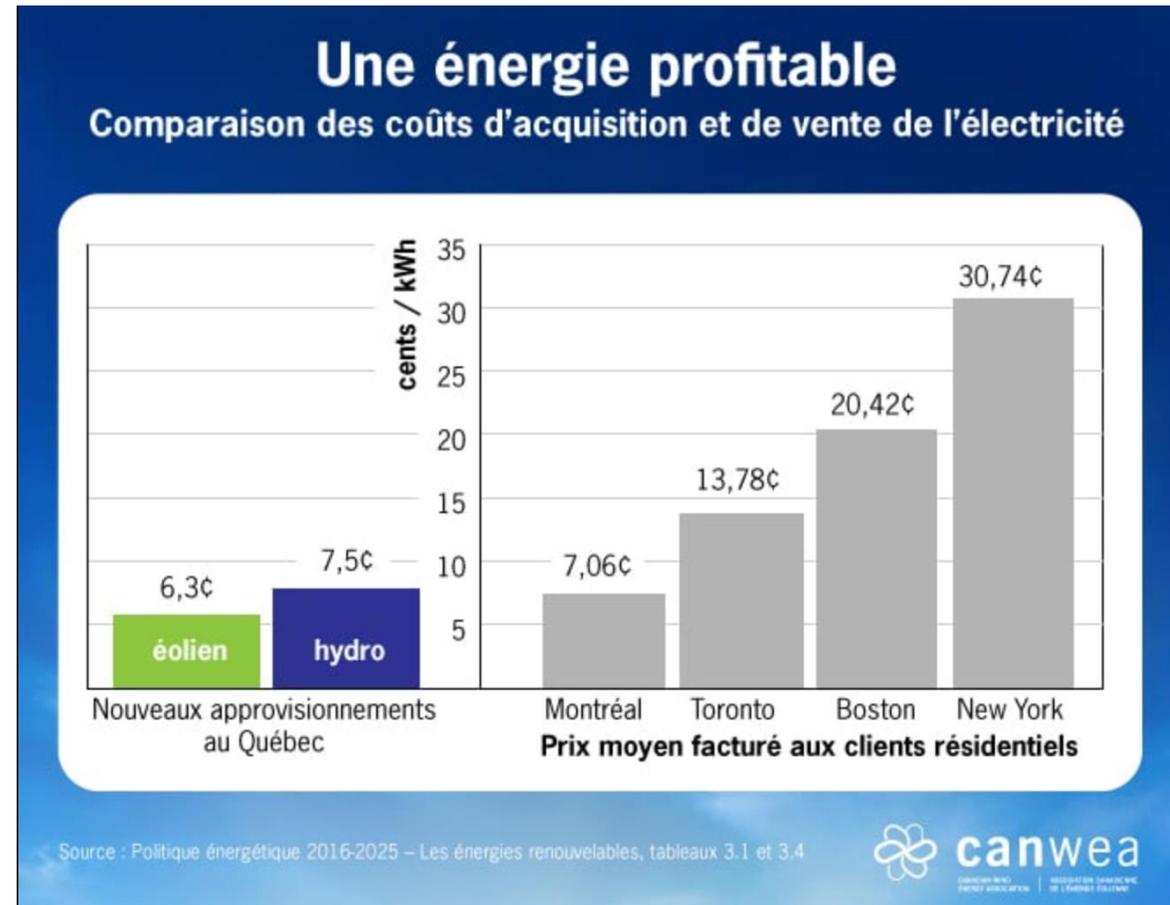
- Objectifs de cette présentation
 - Présenter sommairement les différents impacts des éoliennes;
 - Quantifier sommairement ces impacts lorsque des mesures sont possibles.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- ***Impacts économiques***
- Impacts environnementaux
- Impacts sociaux
- Conclusion

Impacts économiques

- Structure de coûts qui tient compte des facteurs spécifiques de l'énergie éolienne:
 - Coûts de production au point de raccordement;
 - Coûts de support en puissance et d'équilibrage;
 - Pertes de transport;
 - Pertes de distribution.



Impacts économiques

- Appuis financiers à la filière basés sur les externalités dont le marché ne tient pas encore compte:
 - Réduction des GES (taxe sur le carbone pas encore complètement opérationnelle);
 - Développement régional et création d'emplois;
 - Risques environnementaux et pour la santé humaine;
 - Coût de R&D passé dans les autres filières, le nucléaire par exemple ou même les centrales classiques.

Impacts économiques

- Politiques énergétiques qui affectent les facteurs économiques:
 - Crédits de taxes à la production (PTC)
 - Le code fiscal américain prévoit un crédit d'impôt sur le revenu de **2,3 cents/kilowattheure** (ajusté en fonction de l'inflation pour 2013) pour la production d'électricité à partir de turbines éoliennes, d'installations géothermiques, solaires, hydroélectriques, de biomasse et d'énergies renouvelables marines et hydrocinétiques.
 - Cette incitation, le crédit d'impôt sur la production d'énergie renouvelable (PTC pour *Production Tax Credit*), a été créée dans le cadre de la loi sur la politique énergétique de 1992.
 - Fin 2015, une large majorité du Congrès a voté pour prolonger le PTC pour l'éolien et le solaire pour 5 ans et 25 milliards de dollars.
 - Les analystes prévoient un investissement de **35 milliards de dollars** pour chaque type.

Impacts économiques

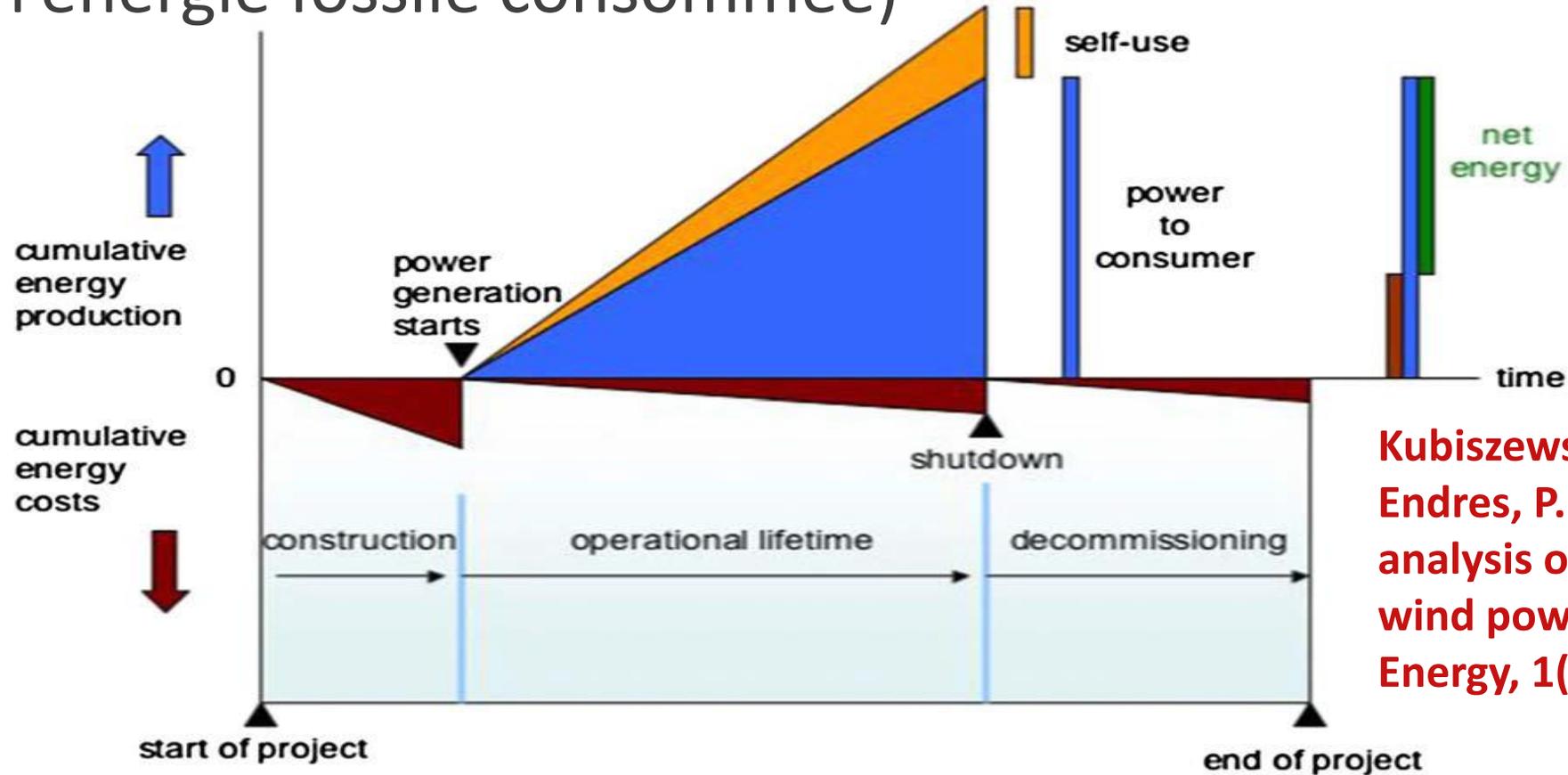
- Politiques énergétiques qui affectent les facteurs économiques:
 - Prix fixes d'achat d'électricité de source renouvelable (feed-in tariff);
 - Standards sur les portefeuilles d'énergies renouvelables;
 - Vente directe d'énergie renouvelable (basée sur un tarif volontaire).
- Politiques environnementales
 - Réduction des GES.
- Facturation en temps réel

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Impacts économiques
- ***Impacts environnementaux***
- Impacts sociaux
- Conclusion

Impacts environnementaux

- Bilan énergétique net (ratio entre l'énergie nette produite et l'énergie fossile consommée)



Kubiszewski, I., Cleveland, C. J., & Endres, P. K. (2010). Meta-analysis of net energy return for wind power systems. *Renewable Energy*, 1(35)218-225

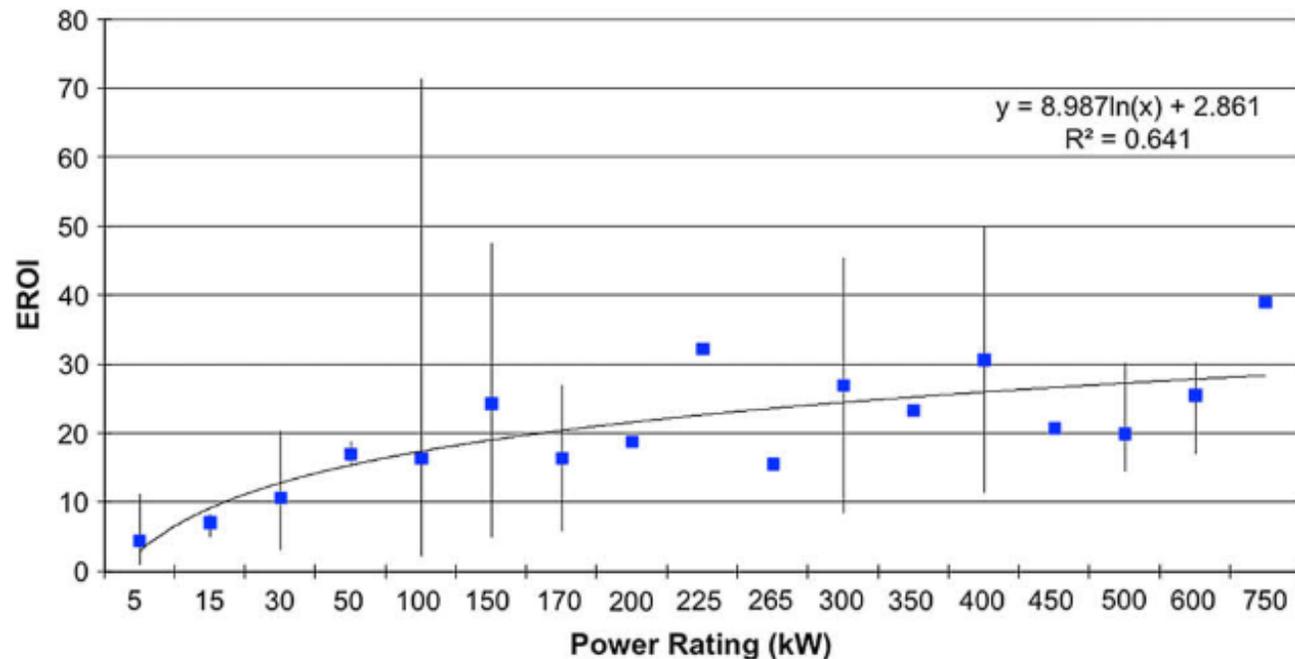
Impacts environnementaux

- Net energy balance (NEB)
 - Energy produced – Primary energy consumed
- Energy Return on Investment (EROI ou EROEI)
 - Energy produced / Primary energy consumed
- Net Energy Ratio (NER)
 - EROI according to Batan et al. 2010
- Fossil Energy Ratio (FER)
 - Energy produced / Primary fossil energy consumed

Question

- D'après vous comment le bilan énergétique net d'une éolienne se compare avec les énergies fossiles? Avec d'autres sources renouvelables?

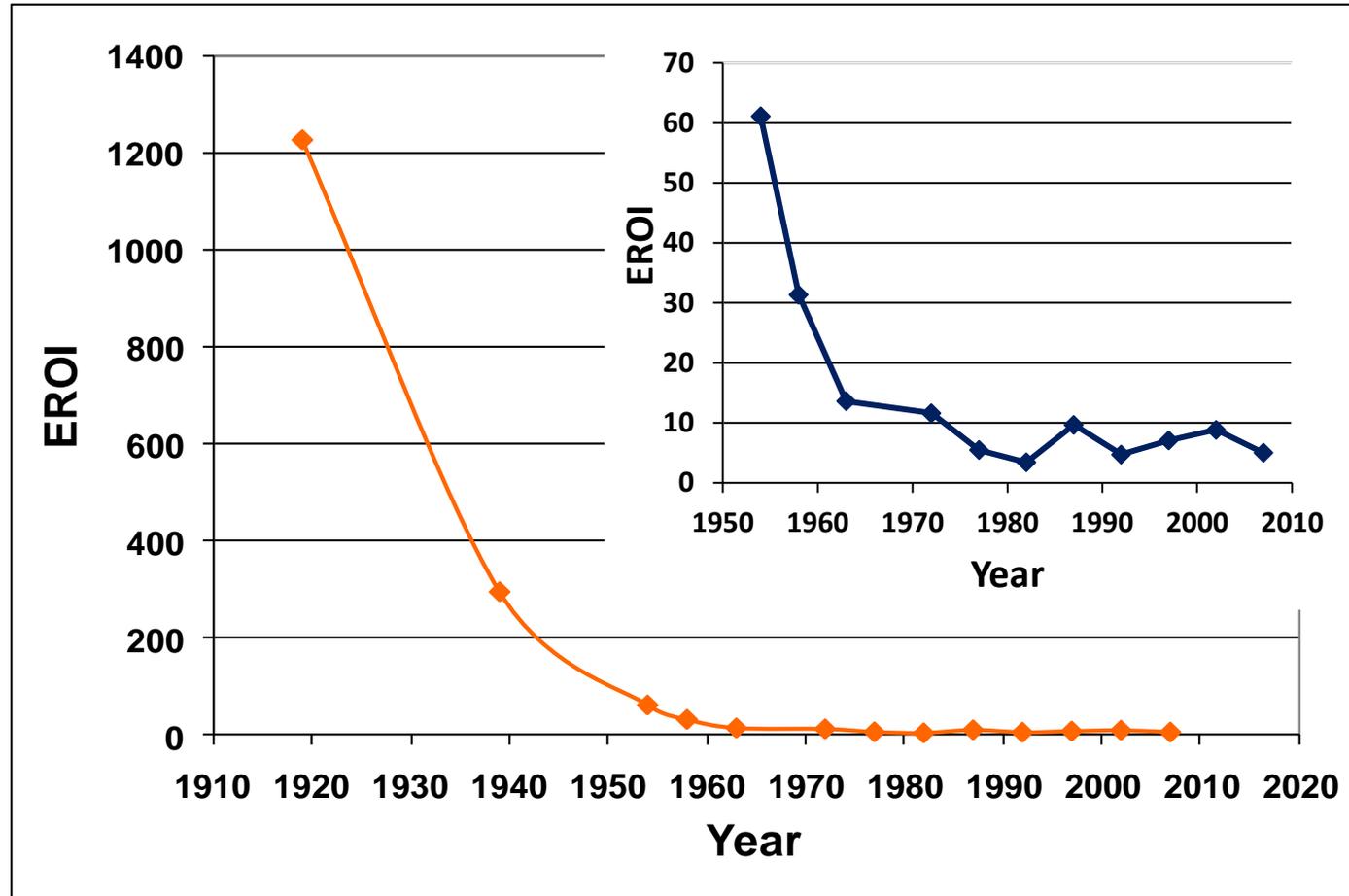
I. Kubiszewski et al. / Renewable Energy 35 (2010) 218–225



Les petites éoliennes (<10 kW)
ne produisent pas d'énergie!!

Impacts environnementaux

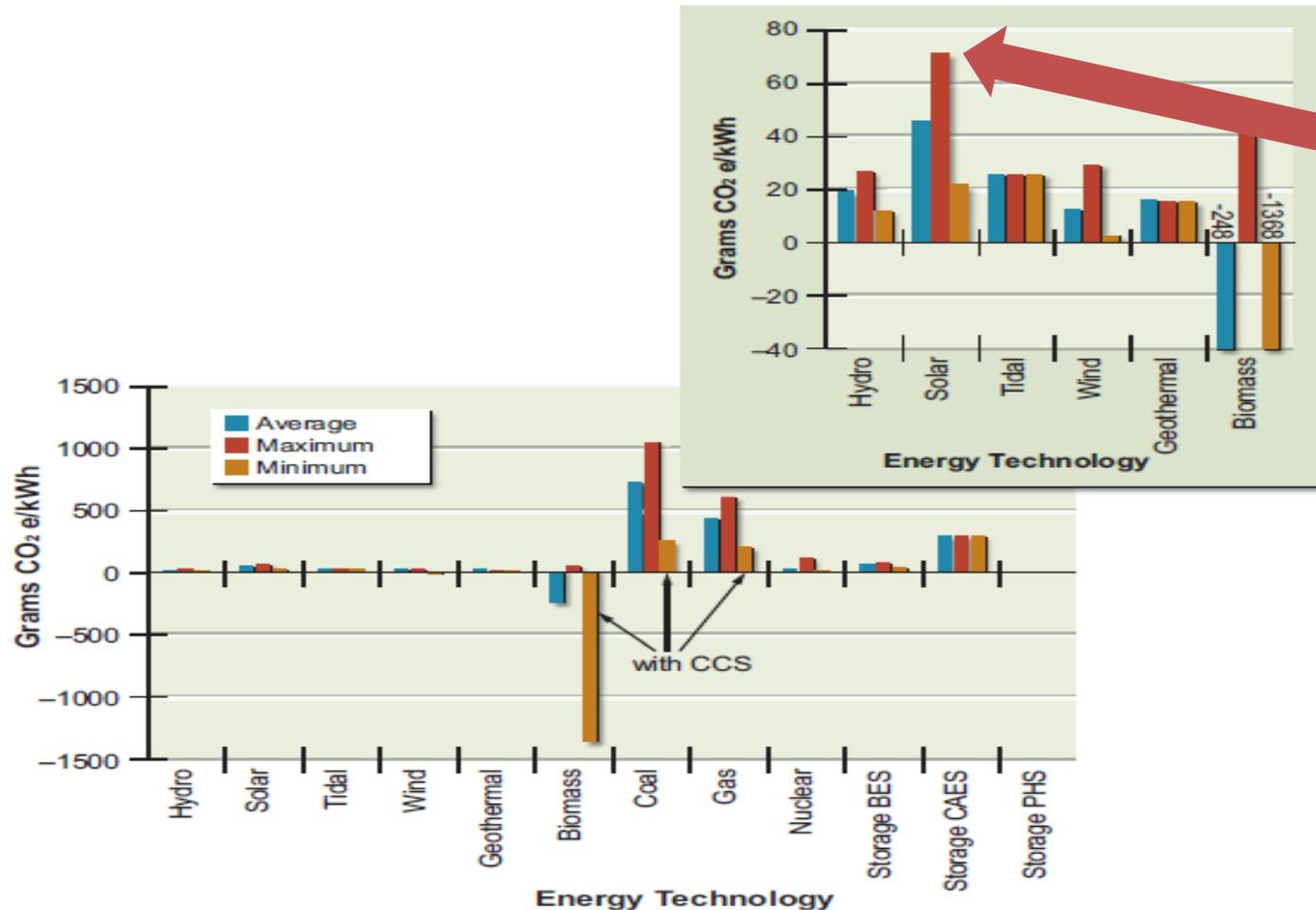
- EROI des activités de recherche de gaz et de pétrole É.-U. :



Guilford, Hall 2011

Impacts environnementaux

- Émissions des GES durant le cycle de vie



Le solaire raccordé au réseau possède la plus grande empreinte des renouvelables!!

Question



ENR2020

- À combien est estimé le nombre annuel d'oiseaux tués par une éolienne au Canada en 2013?

- A. Entre 2 et 6
- B. Entre 7 et 11
- C. Entre 12 et 20
- D. Entre 21 et 29
- E. Entre 30 et 50



Impacts environnementaux

- Impact sur la faune

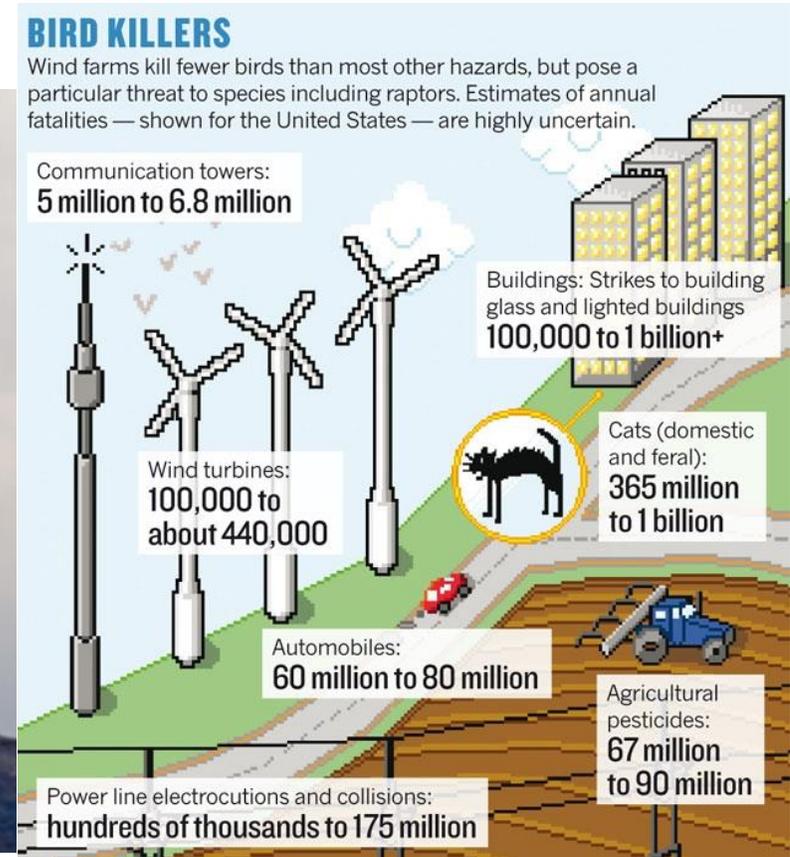
- La mortalité par éolienne et par an est estimée à $8,2 \pm 1,4$ oiseaux;
- Soit sur la totalité du parc Canadien en 2011, environ 23 300 oiseaux;
- La perte d'habitat est elle estimée à 1,23 ha par éolienne (12 000m²).

Source: Zimmerling, J. R., Pomeroy, A. C., d'Entremont, M. V., & Francis, C. M. (2013). Canadian Estimate of Bird Mortality Due to Collisions and Direct Habitat Loss Associated with Wind Turbine Developments



Impacts environnementaux

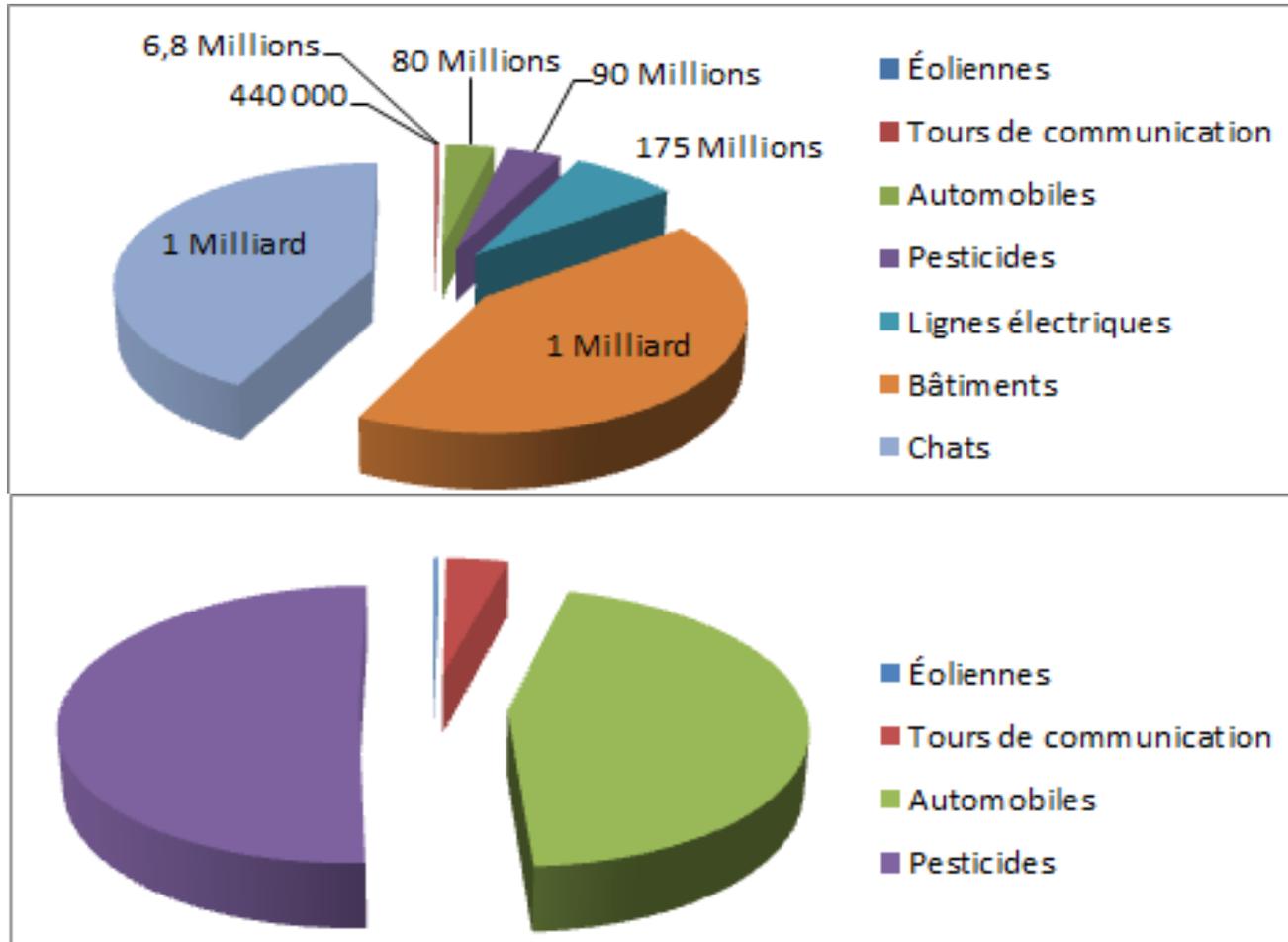
- Impact des éoliennes sur les oiseaux et les chauves-souris aux USA



Nature, 20 juin 2012 “The trouble with wind turbines: An ill wind

Impacts environnementaux

- Impact des éoliennes sur les oiseaux et les chauves-souris aux USA



Source:

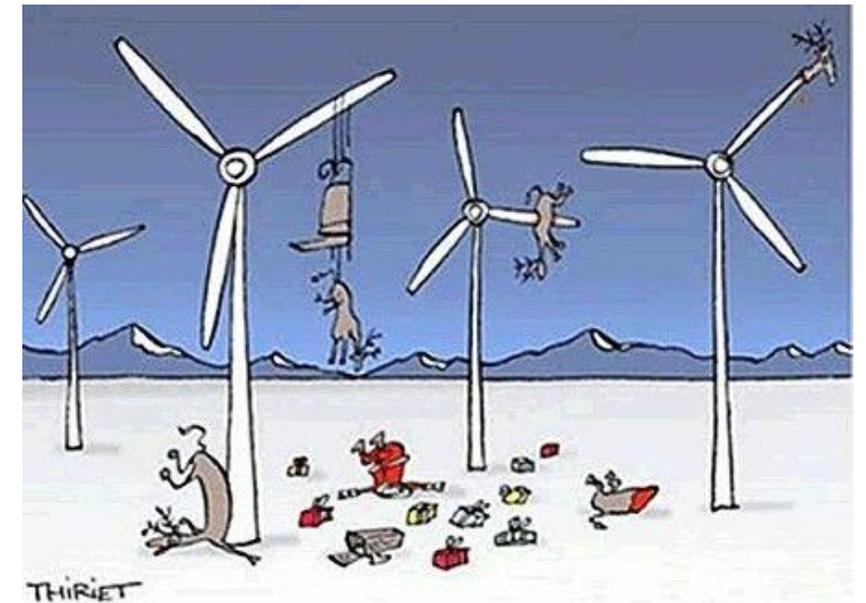
A. Manville, US Fish and Wildlife Service.

La figure ci-contre cite les maximums des données présentées sur la page précédente.

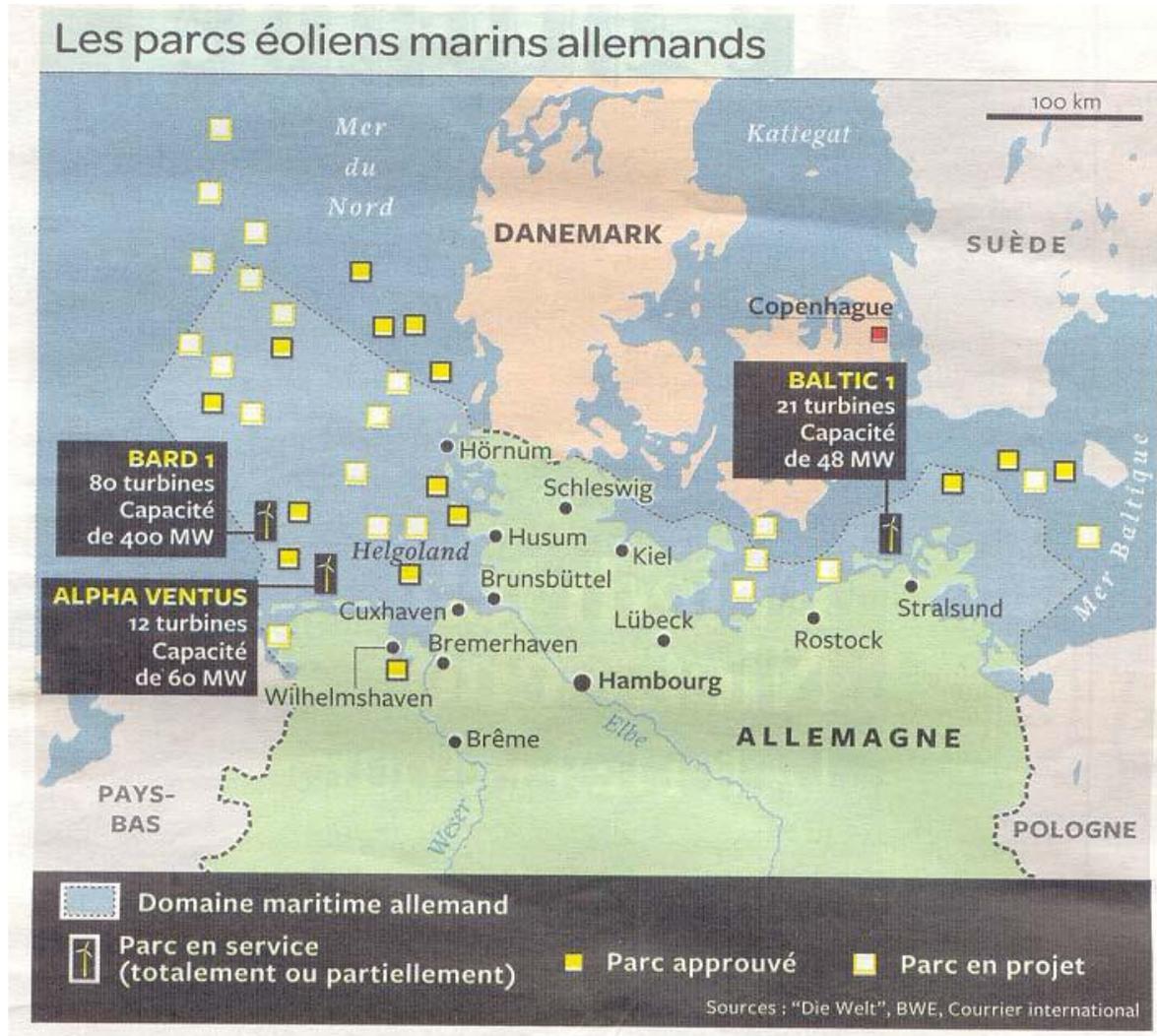
Sans être négligeable, la mortalité induite par les éoliennes est de plusieurs ordre de grandeur inférieure à celle induite par les chats domestiques.

Impacts environnementaux

- Impact des éoliennes sur les oiseaux et les chauve-souris
 - Il existe cependant un bémol à minimiser cet impact;
 - Un parc éolien installé dans un couloir migratoire recèle un grand potentiel de catastrophe écologique;
 - En extrapolant pour d'autres espèces, il en est ainsi pour plusieurs tant animales que végétales.
 - Il faut donc procéder à une analyse locale.



Impacts environnementaux



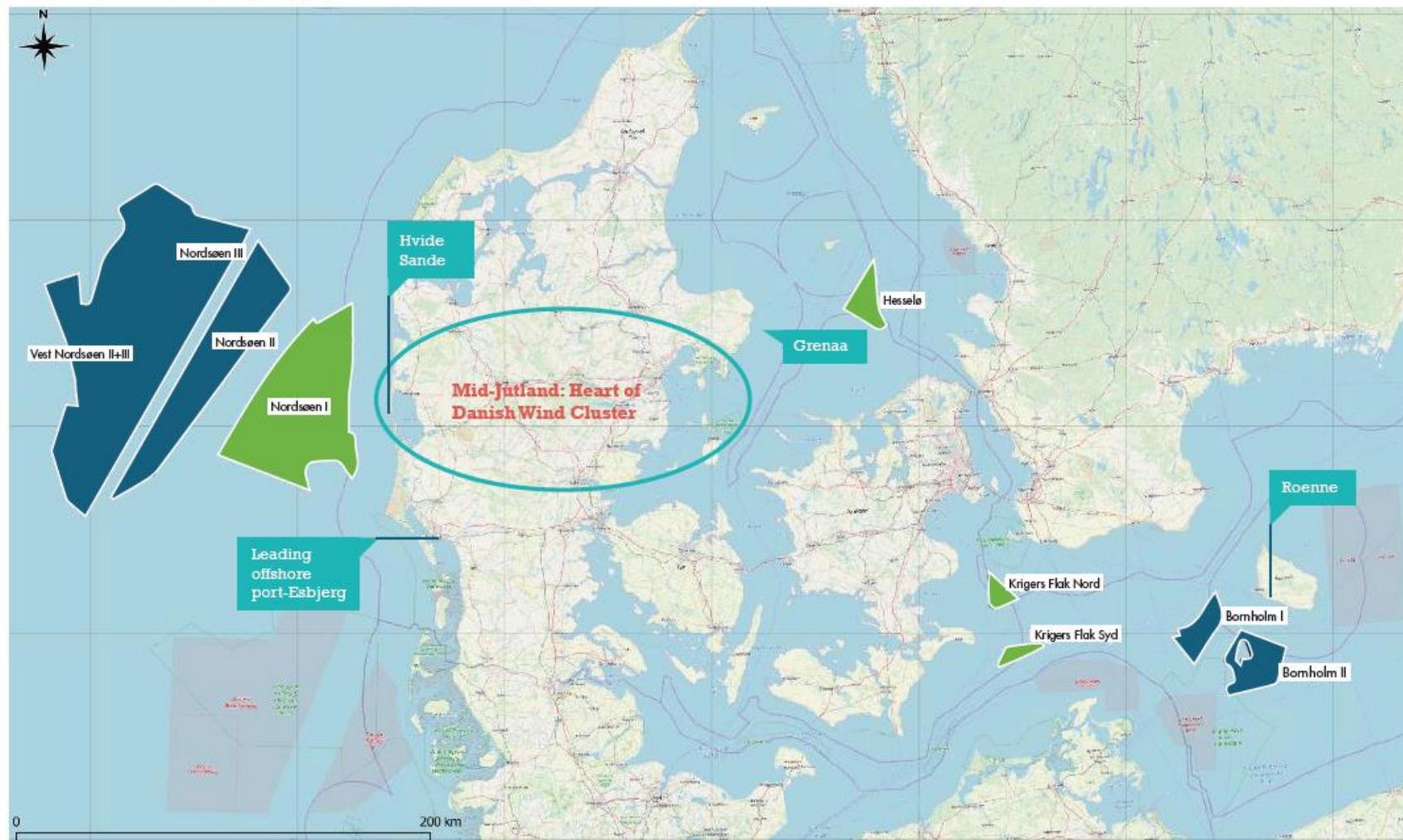
CI, no 1078,
juin-juillet 2011
(Die Welt, Berlin)

Voir <http://www.alpha-ventus.de/>



Impacts environnementaux

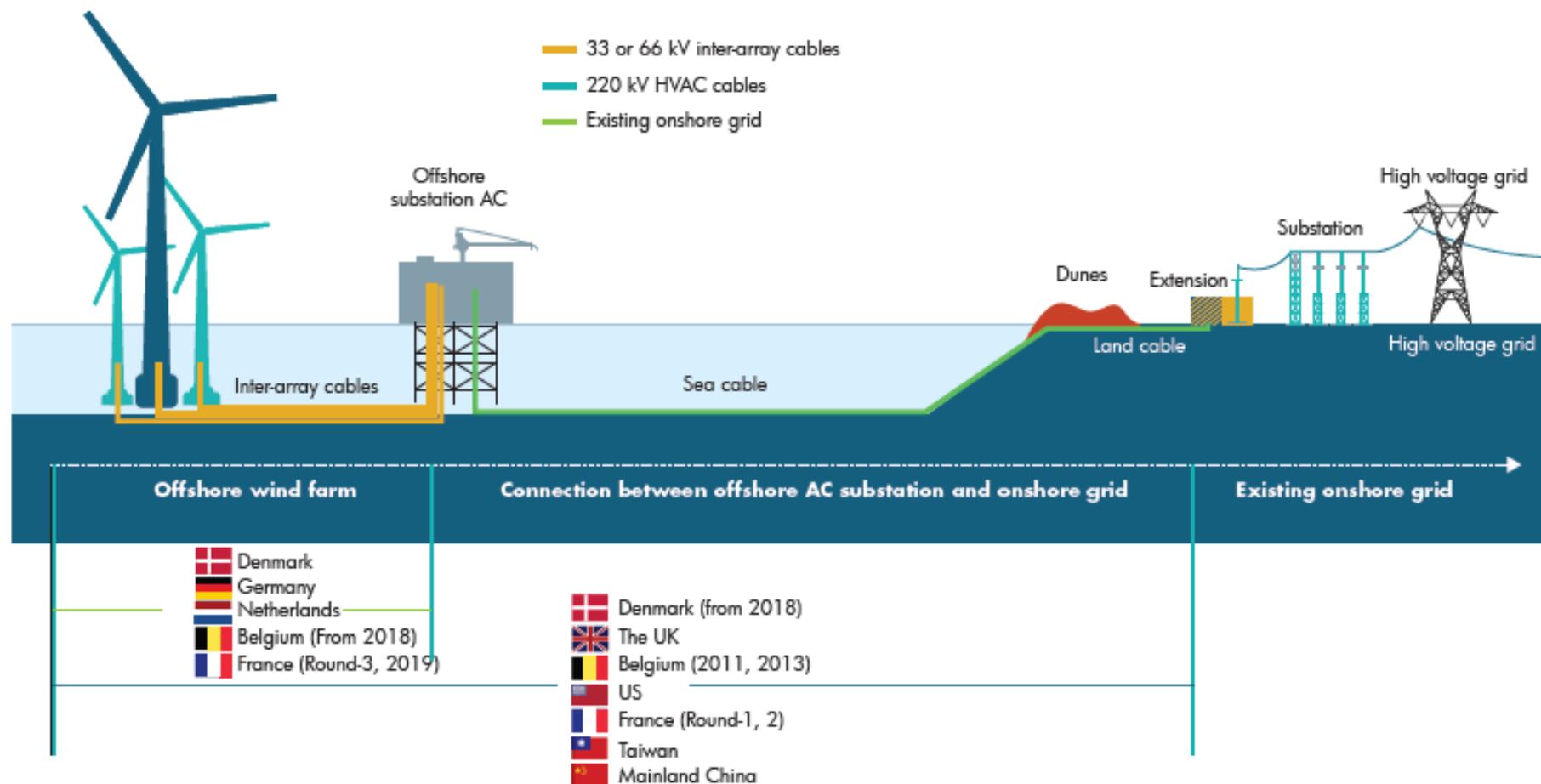
Danish wind cluster (and ports), mapping of offshore wind development



Source: Danish Energy Agency, GWEC Market Intelligence, June 2020

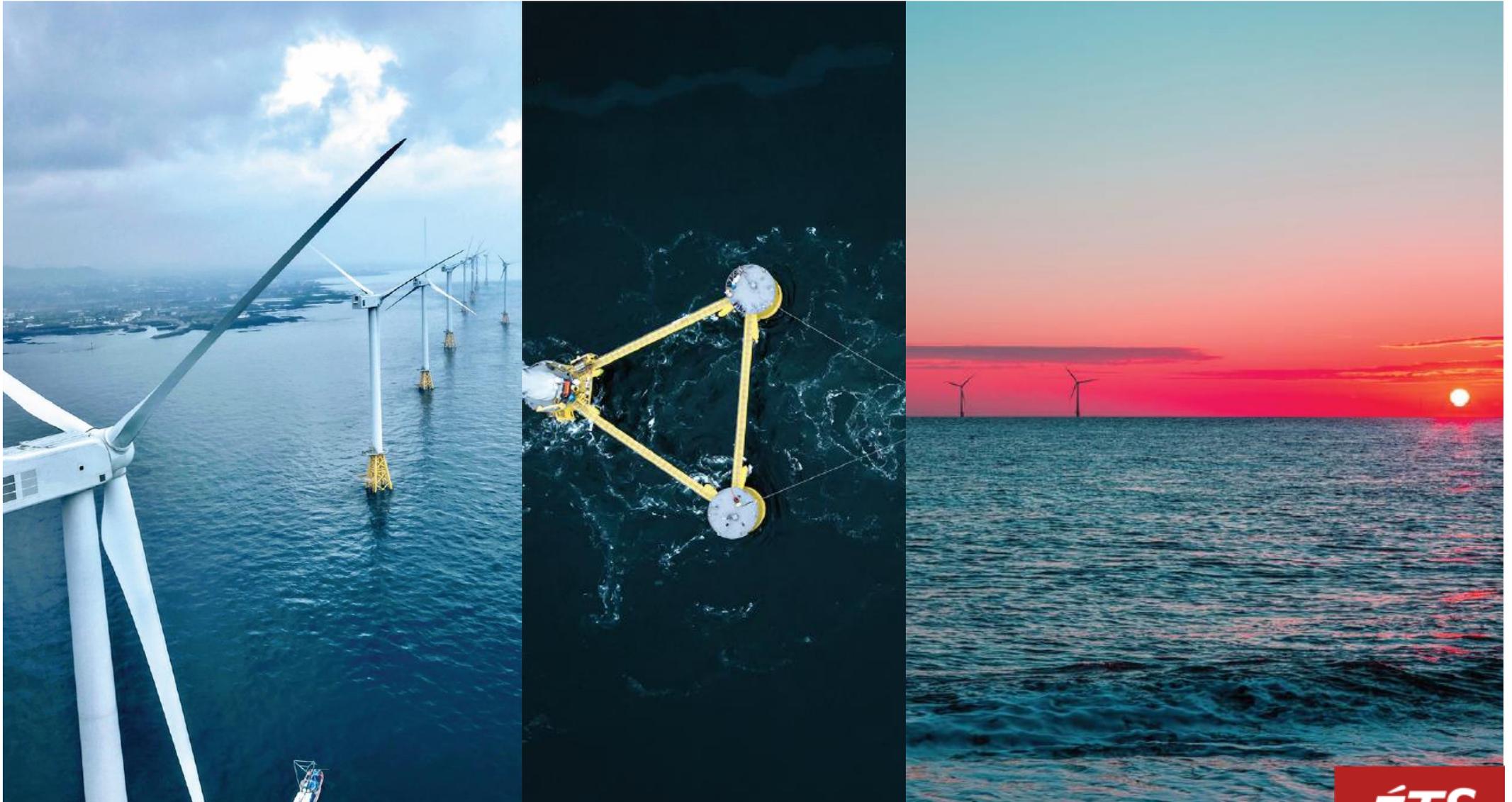
Impacts environnementaux

Grid connection responsibility in different offshore wind markets

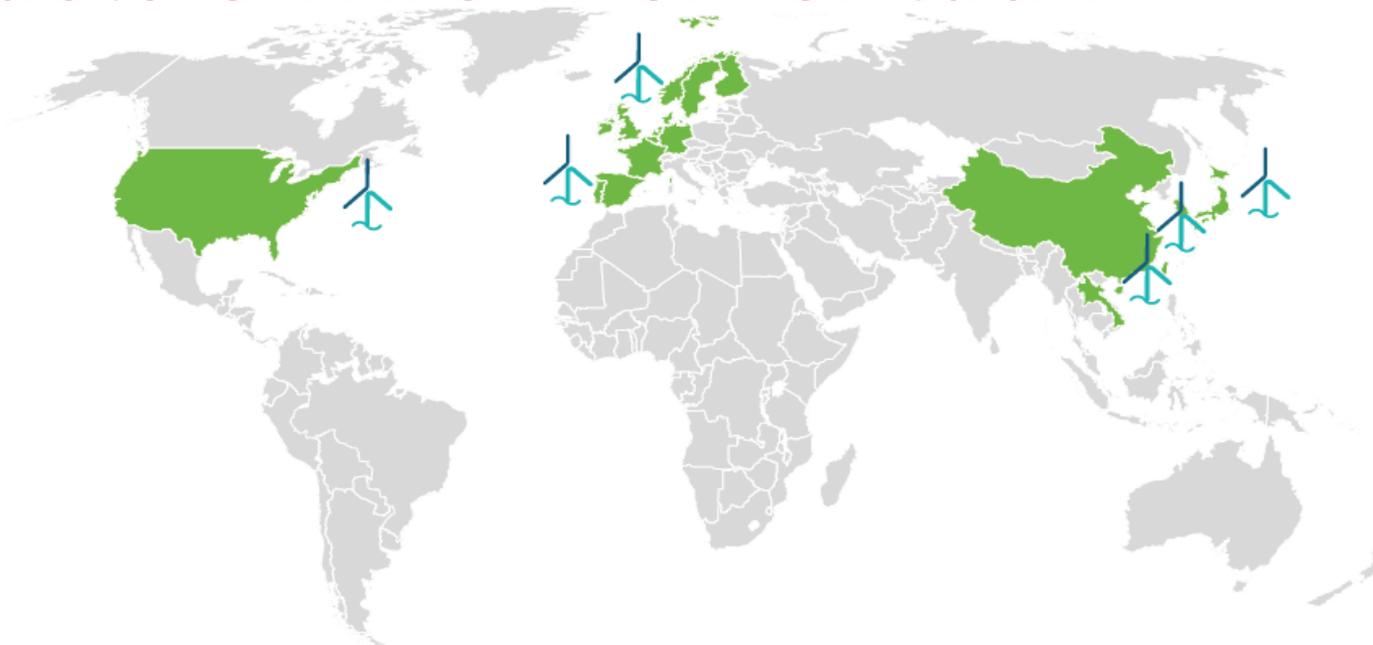


Source: GWEC Market Intelligence, TenneT

Impacts environnementaux



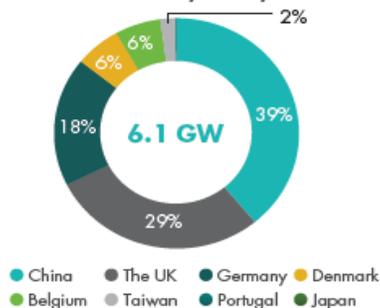
Impacts environnementaux



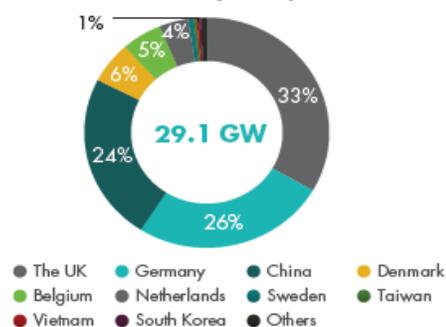
FLOATING WIND

- 11.4 MW floating wind installed in 2019, of which 8.4 MW is from Portugal and 3 MW from Japan;
- As of the 2019, a total of 65.7 MW floating wind was installed global, of which 32 MW is located in the UK, 19 MW in Japan, 10.4 MW in Portugal, 2.3MW in Norway and 2 MW in France

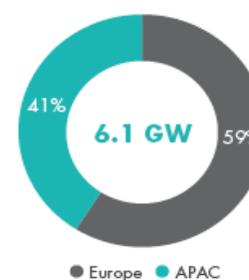
New offshore wind installations by country



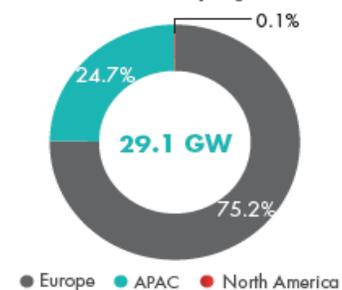
Total offshore wind installations by country



New offshore wind installations by region



Total offshore wind installations by region



Impacts environnementaux

CI, no 1090, 22-28 septembre 2011,
(De Volkskrant, Amsterdam)

- Le parc d'Egmond aan Zee (2006) :
 - Ce parc éolien a fait l'objet de débats à la télé, 200M€;
 - Offshore propriété de Nuon et Shell, opéré par Noordzeewind;
 - 1018 MW, 36 éoliennes sur 40 km²;
 - Aucun bateau, aucune pêche;
 - Étude de IMARES, NIOZ, et Bureau WAARDENBURG en 2011.



Impacts environnementaux

- Constataation
 - Le développement de la biodiversité marine;
 - Peu d'oiseaux à 10-18 km de la côte;
 - Devenu un refuge marin (marsouin).



Impacts environnementaux

- Parcs éoliens en mer du Nord
 - 29 en opération et 11 en construction(wiki)

Parc éolien	Capacité (MW)	Éoliennes	Pays	Date de mise en service	Coût de construction	Facteur de charge	Profondeur (m)	Distance de la côte (km)	Exploitants	Références
London Array	630	175 x Siemens SWT-3.6	Royaume-Uni	2013	£1.8b		0-25	20	DONG Energy, E.ON UK Renewables, Masdar	w 16
Greater Gabbard	504	140 x Siemens SWT-3.6-107	Royaume-Uni	2012	£1.5 milliard		20-32	23	SSE Renewables	w 8
BARD Offshore 1	400	80 x BARD 5.0	Allemagne	2013	2,9 milliards d'euros		40	100	Ocean Breeze Energy	w 2, 5
Thorntonbank	325.2	6 x REpower 5M, 48 x Senvion 6M	Belgique	2013	€1.1b		13-19	27	C-Power	w 26, 1, 38
Sheringham Shoal	317	88 x Siemens SWT-3.6-107	Royaume-Uni	2012	£1.1b		12-24	17	Statoll 50% Statkraft 50%	w 24
Thanet	300	100 x Vestas V90-3,0 MW	Royaume-Uni	2010	£780-900m		20-25	11	Vattenfall	w 25, 6, 35, 36, 37
Nordsee Ost	295	48 x Senvion 6.2M126	Allemagne	2015				55	RWE Innogy	w 19
DanTysk	288	80 x Siemens SWP-3.6-120	Allemagne	2015	900 millions \$		21-31	70	Vattenfall Stadtwerke München	w 6, 11
Meerwind Sud/Ost	288	80 x Siemens SWT-3.6-120	Allemagne	2014	1,3 milliard d'€		22-26	53	WindMW GmbH.	w 18, 27
Lincs	270	75 x Siemens SWT-3.6-	Royaume-Uni	2013	1 milliard de £		10-15	8	Centrica, Siemens, DONG	w 15, 6, 22, 23, 24

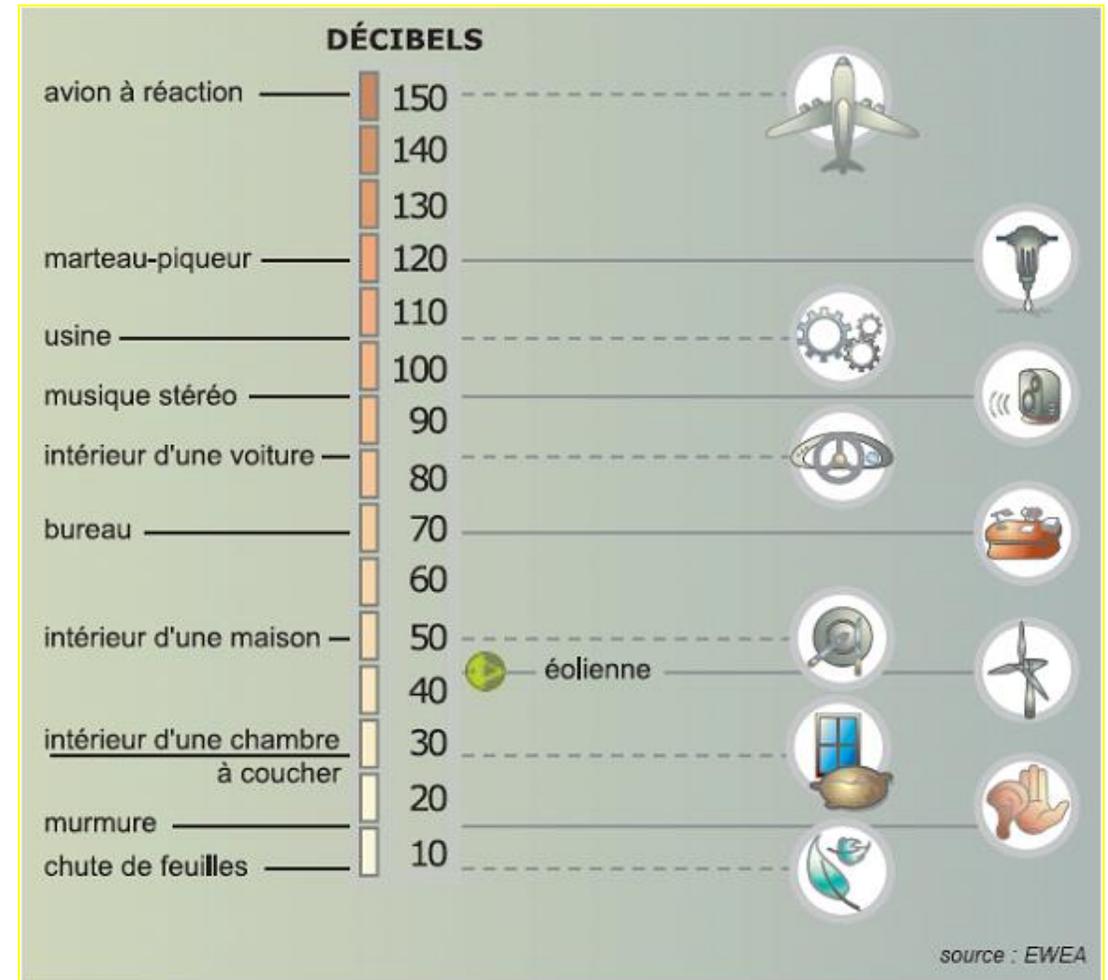
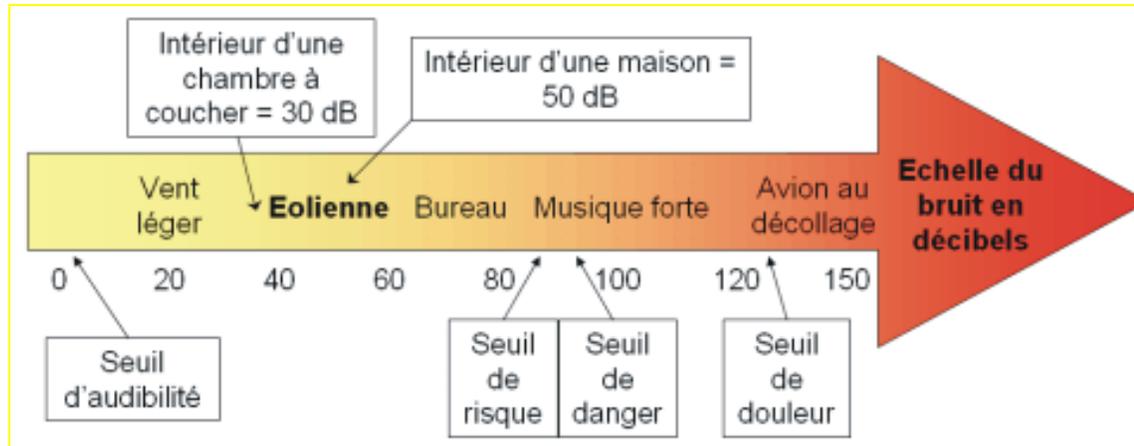


Question

- Quelle est la conséquence sur l'intensité sonore de doubler le nombre d'éolienne d'un parc éolien ?
 - A. Elle diminue de moitié
 - B. Elle est deux fois plus importante
 - C. Elle augmente de 3 dB
 - D. Elle augmente de 30 dB
 - E. Elle diminue de 5 dB

Impacts environnementaux

- Impact sonore
 - Plusieurs personnes se plaignent du bruit induit par les éoliennes.



Évaluation de l'impact du bruit

- L'augmentation du niveau sonore est logarithmique et suit les lois suivantes :

$$L = 10 \log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

L : Niveau d'intensité sonore en dB; I : Intensité sonore en W/m^2 ; I_0 : Intensité sonore de référence ($10^{-12}W$)

$$L_W = 10 \log_{10}\left(\frac{W}{W_0}\right)$$

L_W : Niveau de puissance sonore en dB; W : Source de puissance sonore en Watt; W_0 : Puissance sonore de référence ($10^{-12}W$)

$$L_p = 20 \log_{10}\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

L_p : Niveau de pression sonore en dB; p : Pression sonore instantanée en Pa ; p_0 : Pression sonore de référence ($20 * 10^{-5}Pa$)

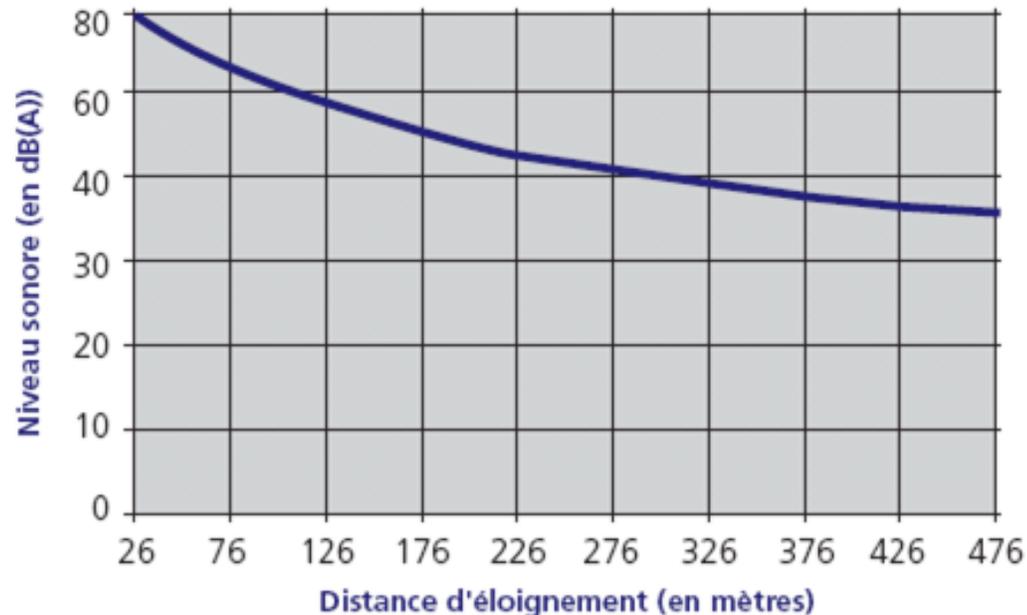
Évaluation de l'impact du bruit

- Ainsi, la présence de 2 éoliennes identiques n'entraîne pas un doublement de la perception de l'intensité sonore.
- Il faudra 10 éoliennes de puissances sonores identiques placées à égale distance de l'auditeur pour que le niveau sonore augmente de 10 dB (A).

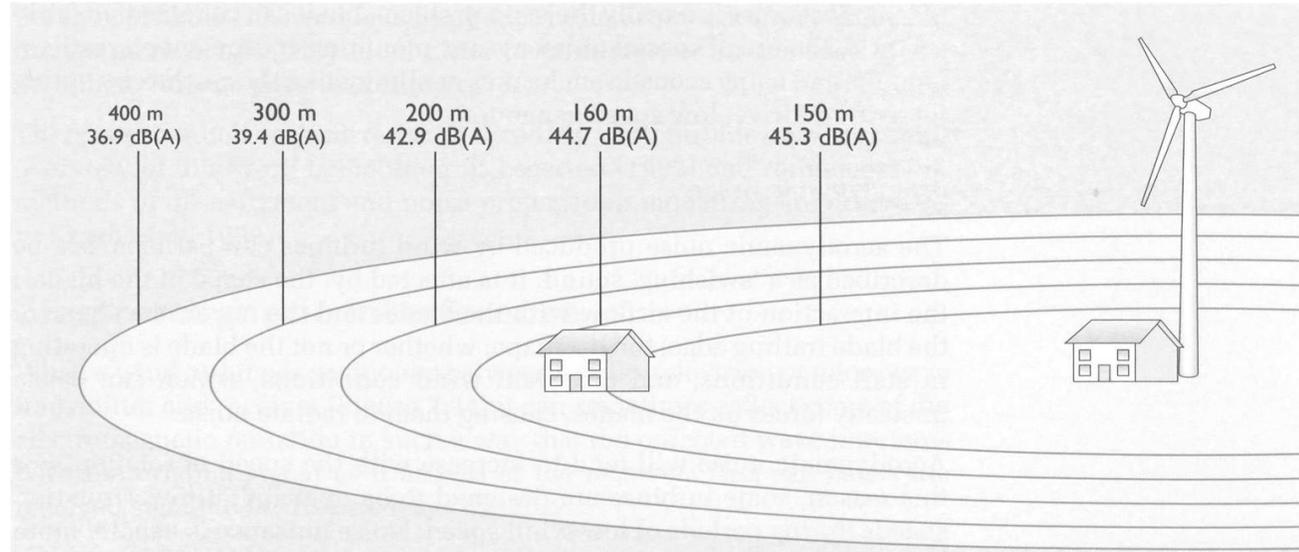
Rapport	1	2	5	10	40	100	1000
Augmentation du niveau sonore (dB)	0	3	7	10	16	20	30

Évaluation de l'impact du bruit

- Pour une éolienne, le niveau sonore décroît en fonction de l'éloignement :



Source : EED



Il est possible de relier l'intensité sonore à la puissance sonore au pieds de l'éolienne (P_s) et à la surface balayée par l'onde sonore S :

$$I = \frac{P_s}{S}$$

Exemple d'une éolienne d'1 MW.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Impacts économiques
- Impacts environnementaux
- ***Impacts sociaux***
- Conclusion

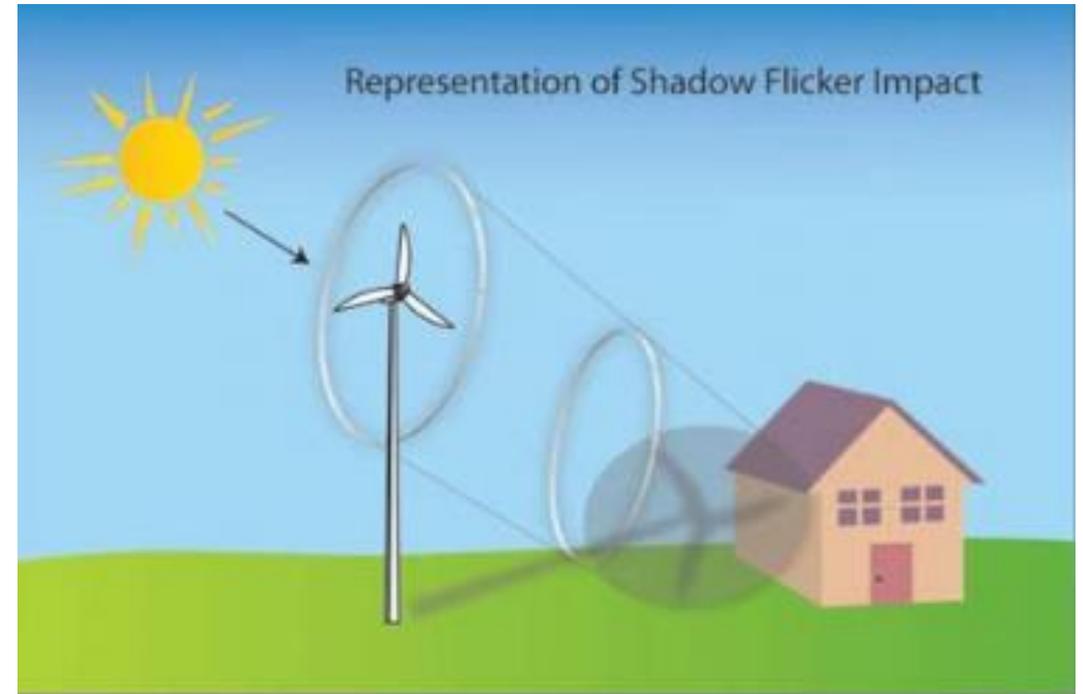
Impacts sociaux

- Impacts visuels : paysage
 - Beau ou pas?



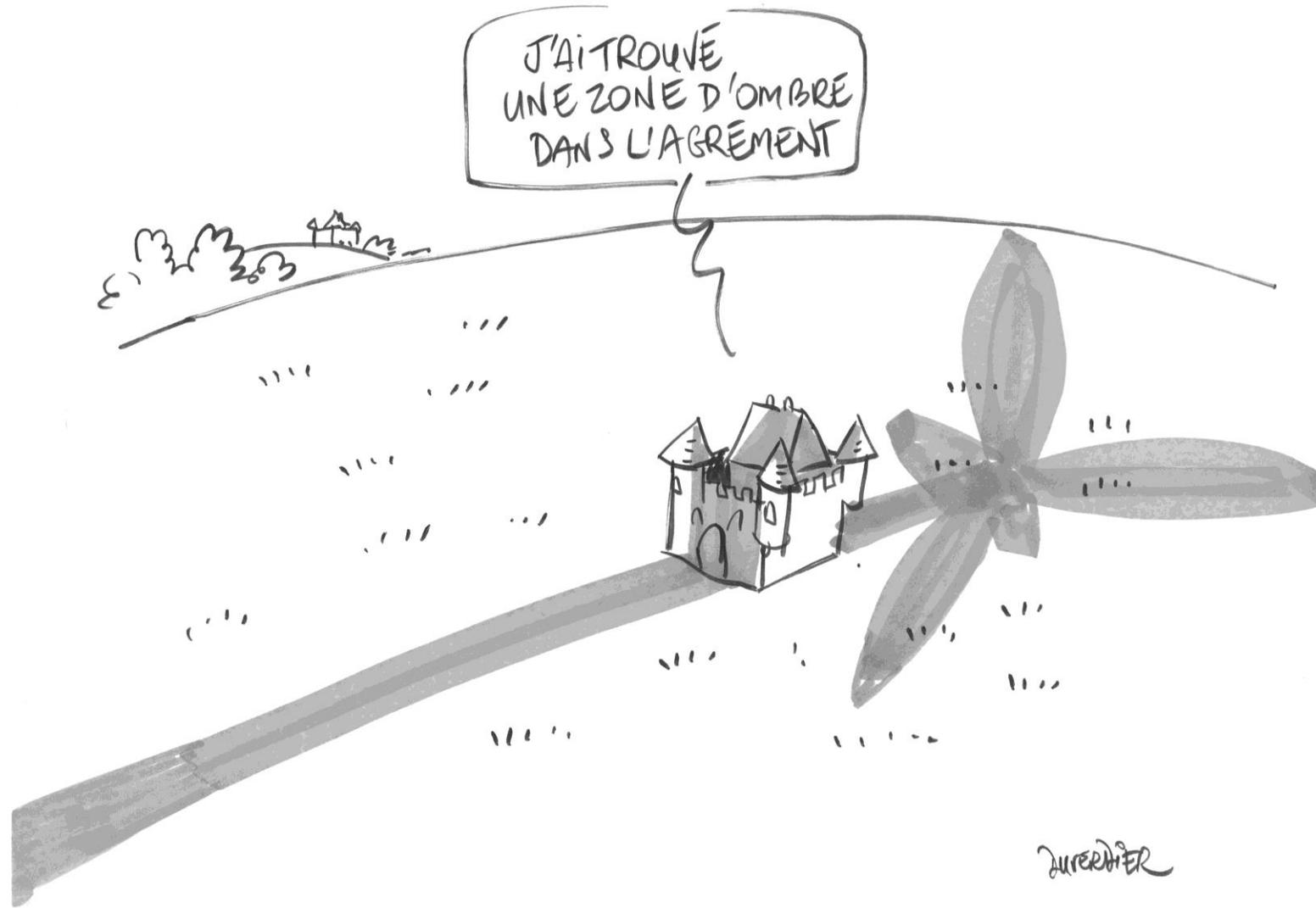
Impacts sociaux

- Impacts visuels : shadow flicker
 - Ombre ondulante créée par les pales de l'éolienne;
 - Variation de luminosité avec une fréquence de 0,6 à 1,0 Hertz;
 - Dépend de la latitude du lieu;
 - <https://www.youtube.com/watch?v=Mble0iUtelQ>



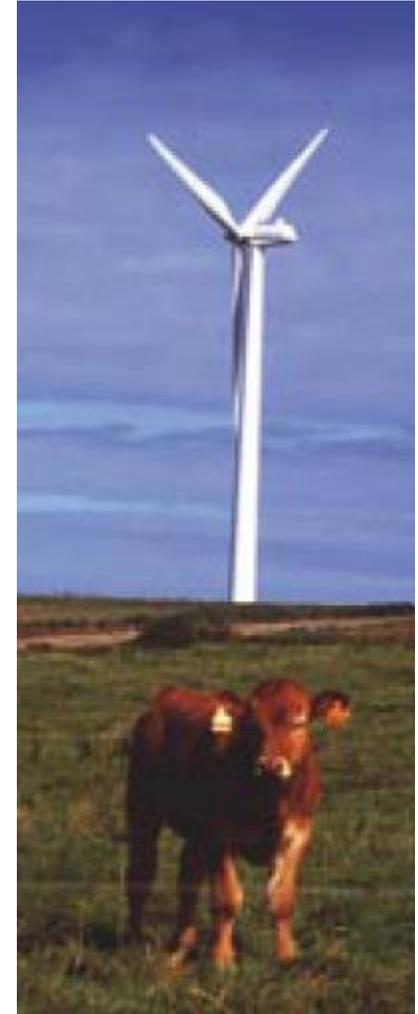
**Réf.: American Wind Energy
Association**

Impacts sociaux



Impacts sociaux

- Finalement, au-delà des chiffres « objectifs », une question de perception individuelle ...
- La question: Est-ce que vous mettriez une éolienne « en arrière de votre cour »?
- La réponse: Que vais-je obtenir en retour!



Impacts sociaux

- Le facteur critique de nombreux projets éoliens dans le monde;
- À mené à l'abandon de plusieurs projets au Québec (de façon directe ou indirecte!) – Rivière du Loup, Ste-Luce, Aguanish;
- Nombreuses études au Québec sur les sources de l'opposition de la population – le syndrome du « pas dans ma cour » s'est avéré un peu trop simplificateur pour expliquer le phénomène.

Impacts sociaux

- Principales sources de l'opposition aux projets éoliens au Québec:
 - Inadéquation perçue entre les retombés (économiques) et les impacts subis - mode de propriété, mauvaise communication, priorisation d'un tarif bas par rapport aux redevances locales, etc.
 - Processus décisionnel non participatif durant tout le cycle de réalisation d'un projet

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Impacts économiques
- Impacts environnementaux
- Impacts sociaux
- ***Conclusion***

Conclusion

- Autres impacts possibles
 - Faible densité de puissance par km²;
 - Interférences électromagnétiques;
 - Aviation militaire;
 - Projection de glace.

Pour davantage de discussion sur les impacts liés aux éoliennes, consultez cette [vidéo](#) de DW Documentary :

Germany's energy transition is in trouble. The country needs wind power if it is going to meet its climate goals, and successfully transition from nuclear and coal power to renewable energy. But the construction of wind turbines has been stalling.



Conclusion

- L'énergie éolienne est **contestée** sur de nombreux points;
- De nombreuses études ont permis de **comprendre** et **quantifier** ces problèmes;
- Il est ainsi possible de **réduire** leurs impacts;
- Cependant, le véritable problème concerne **le décalage** entre les bénéfices et les inconvénients perçus;
- Les installations d'éoliennes continueront d'être **contestées** tant que la nécessité d'une énergie plus durable ne sera pas acceptée et admise.

Références

- Crawford, R. H. (2009). Life cycle energy and greenhouse emissions analysis of wind turbines and the effect of size on energy yield. Renewable and Sustainable Energy Review
- Kubiszewski, I., Cleveland, C. J., & Endres, P. K. (2010). Meta-analysis of net energy return for wind power systems. Renewable Energy
- Priestley T. (2011), An Introduction to Shadow Flicker and its Analysis
- Nordman E. (2010), Wind Power and Human Health: flicker, noise and air quality
- Lawrence Berkeley National Laboratory; presented in Wiser, 2008.
- National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, and National Research Council. 2010. Electricity from Renewable Resources: Status, Prospects, and Impediments. Chapter 4
- Zimmerling, J. R., Pomeroy, A. C., d'Entremont, M. V., & Francis, C. M. (2013). Canadian Estimate of Bird Mortality Due to Collisions and Direct Habitat Loss Associated with Wind Turbine Developments





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

