

Conférence sur

« Energie éolienne et les éoliennes de puissance »

Ecole d'Ingénieurs PolyTech MAT 5ème année

J. Bresson-Pr

Sommaire

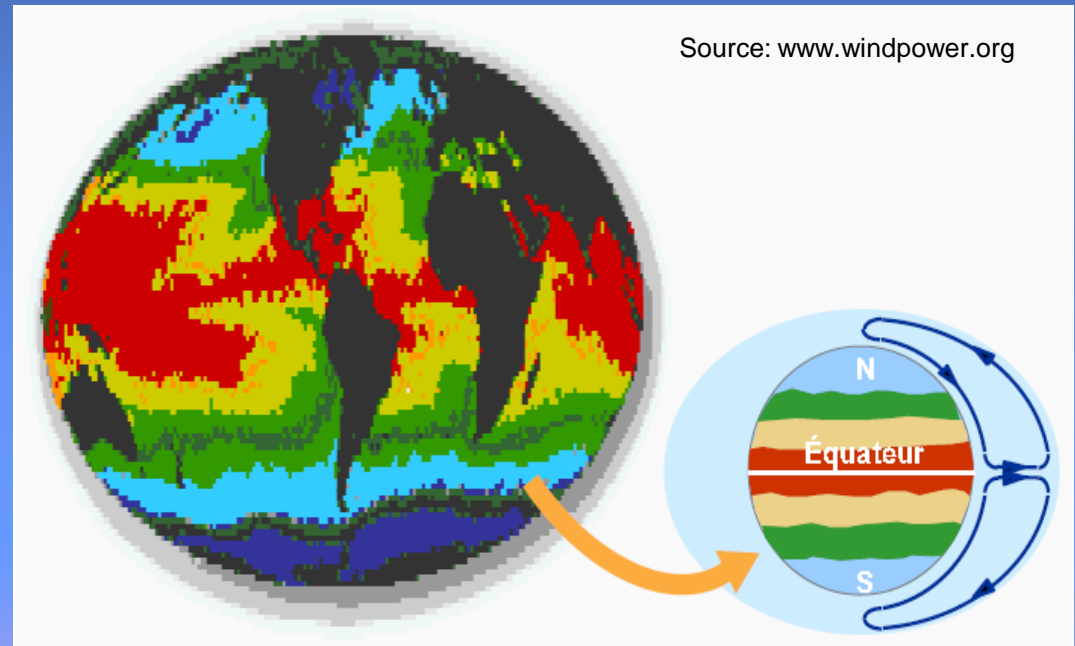
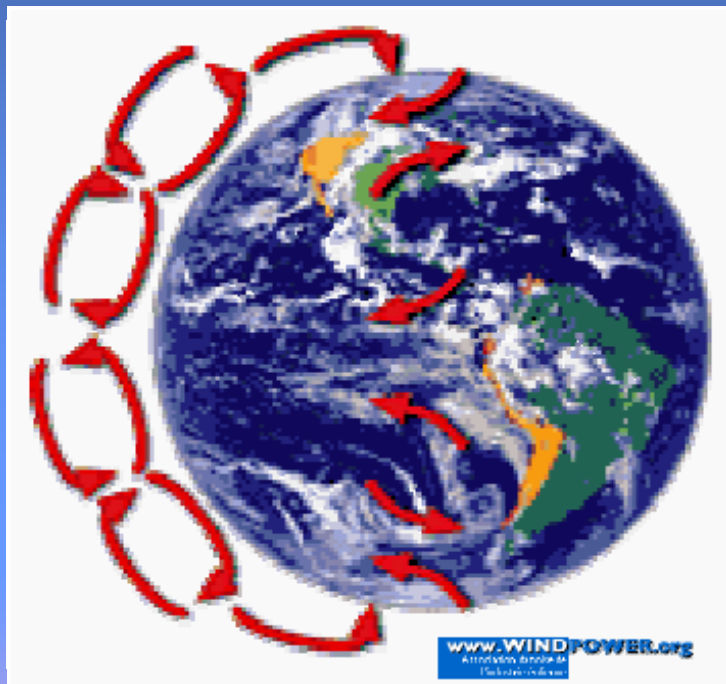
1. Le potentiel éolien
2. Notions d'aérodynamiques
3. Les éoliennes à axe horizontal
4. Puissance et facteur de charge d'une éolienne
5. Calcul du Productible d'une éolienne
6. Annexes
 - Panorama de l'électricité renouvelable en Europe et en France
 - Impacts environnementaux de l'éolien français
 - Démantèlement et recyclage d'un parc éolien

MOOC Fév. 2015 - <https://www.canal-u.tv>

« Les énergies renouvelables »

L'origine du vent

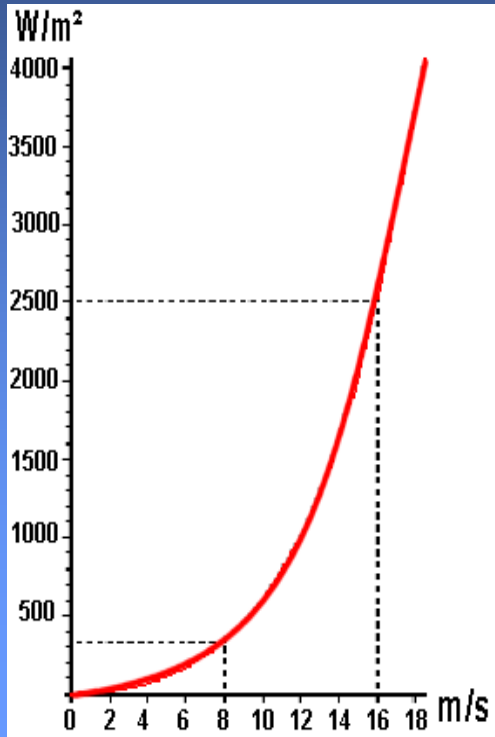
La terre reçoit de la part du soleil une puissance de $1,74 \times 10^{17} \text{ W}$.
Seulement 1 à 2% de cette énergie est convertie en énergie éolienne



Le soleil réchauffe plus les régions proches de l'équateur que les pôles.

Les masses d'air se déplacent et créent le Vent.

Energie et puissance du vent



Une éolienne capte **l'énergie cinétique** du vent et la convertit en un couple qui fait tourner les pales du rotor.

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2$$

Si $m = \rho S V$ masse (par unité de temps) du disque d'air

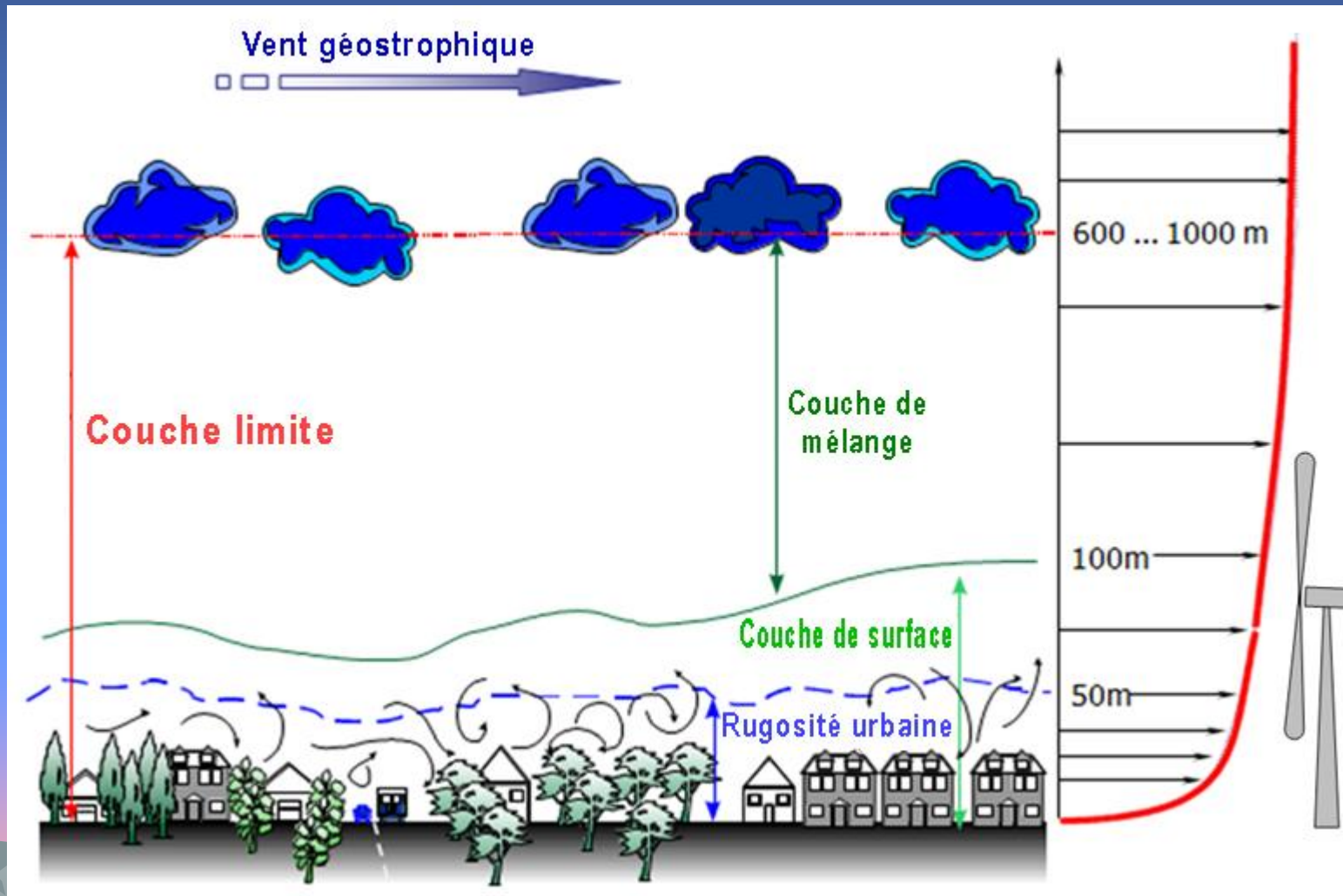
La **puissance** instantanée du vent s'écrit alors :

$$P_{\text{vent}} = \frac{E_c}{t = 1s} = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} \rho S V^3$$

Un doublement de la vitesse du vent correspond à une augmentation de sa capacité énergétique de $2^3 = 8$ fois.

Variations du vent

1-/ Augmentation du vent avec l'altitude



Couche limite atmosphérique

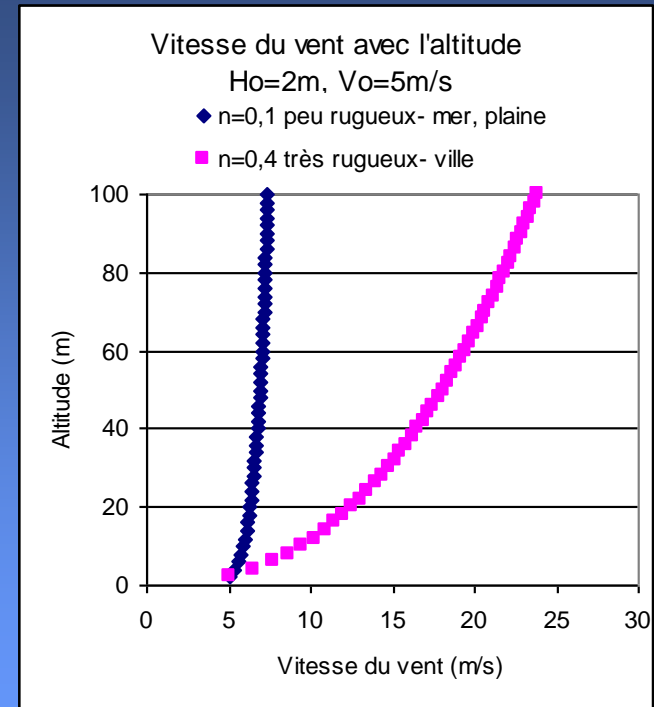
Variations du vent

1-/ Augmentation du vent avec l'altitude

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^n \quad 0,1 < n < 0,4$$

Rugosité

n=0,1 correspond à la mer,
 n=0,16 à une plaine,
 n=0,28 à une forêt
 et n=0,4 à une zone urbaine.



Terrain peu rugueux n=0,16



Terrain très rugueux n=0,4



Variations du vent

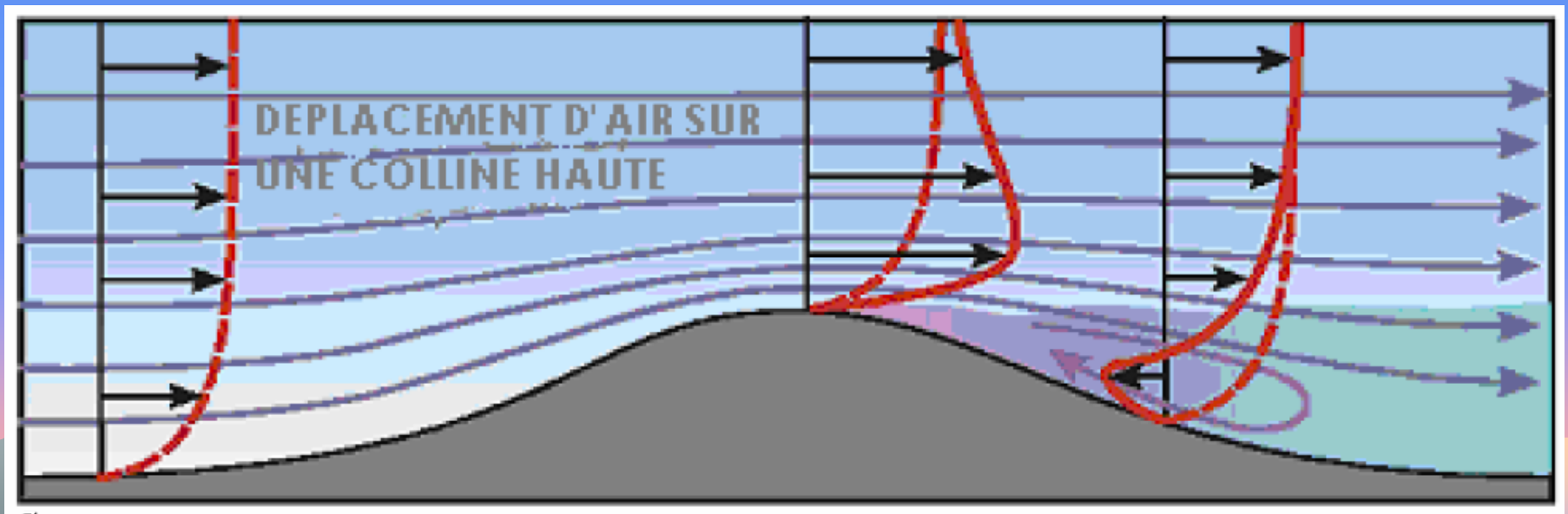
2-/ Accélération du vent due à la topologie du terrain



Effet goulet

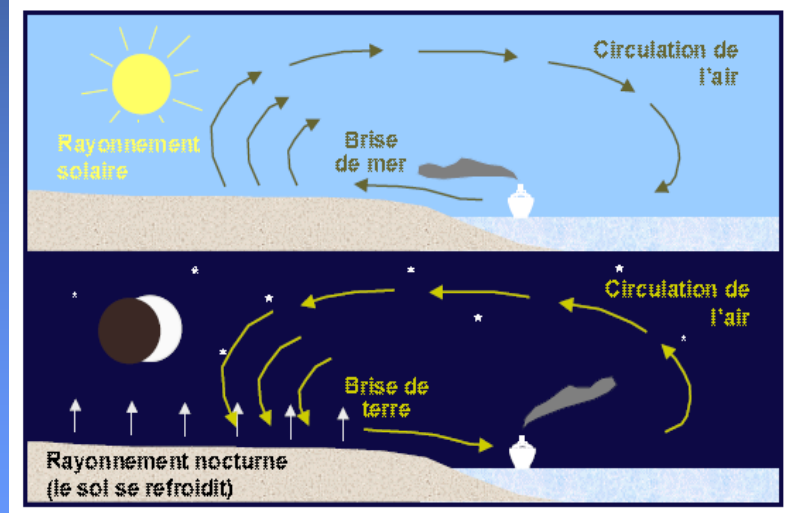
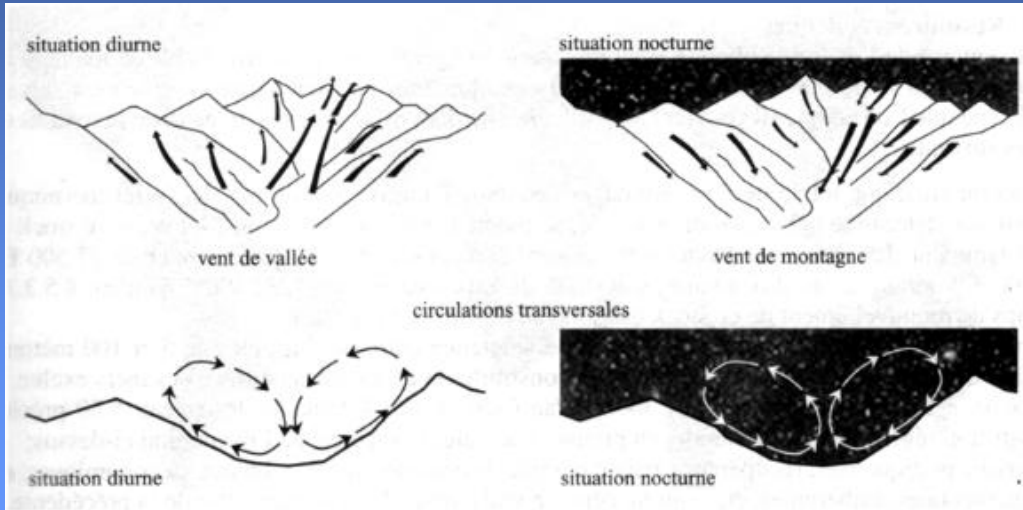


Effet colline



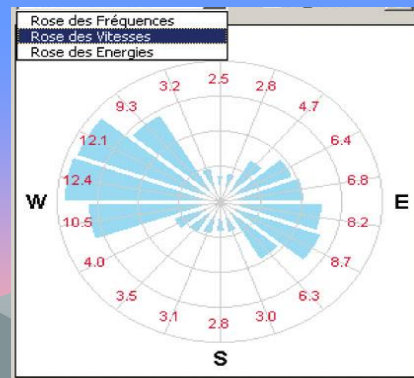
Variations du vent

3-/ fluctuations temporelles du vent



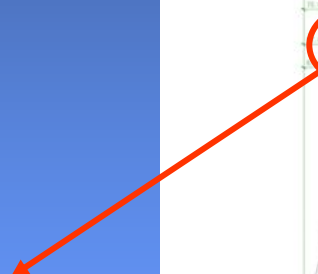
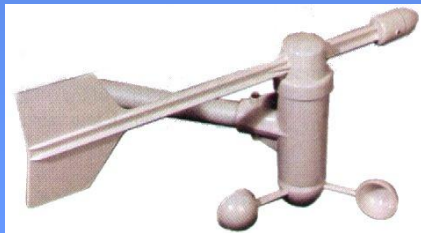
Vents en montagne

Brises de terre/mer

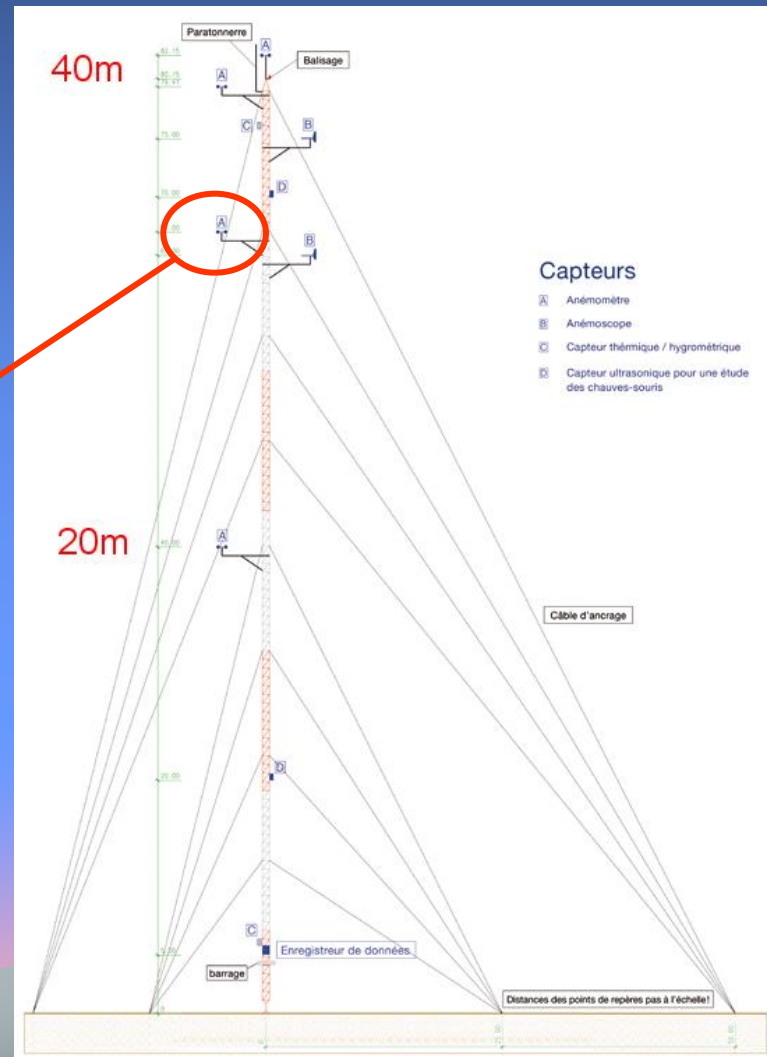


Potentiel éolien d'un site

Mât de mesure du vent



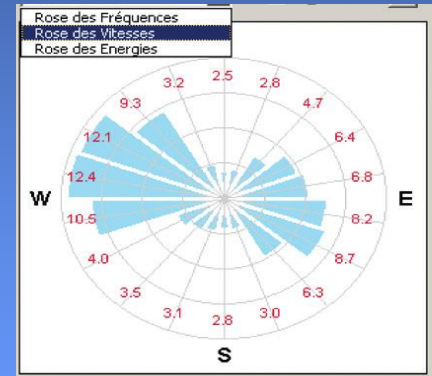
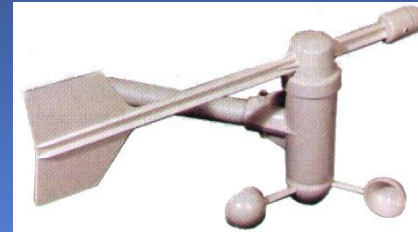
La mesure de la vitesse du vent à différentes hauteurs permet d'accéder à la **rugosité** du site.



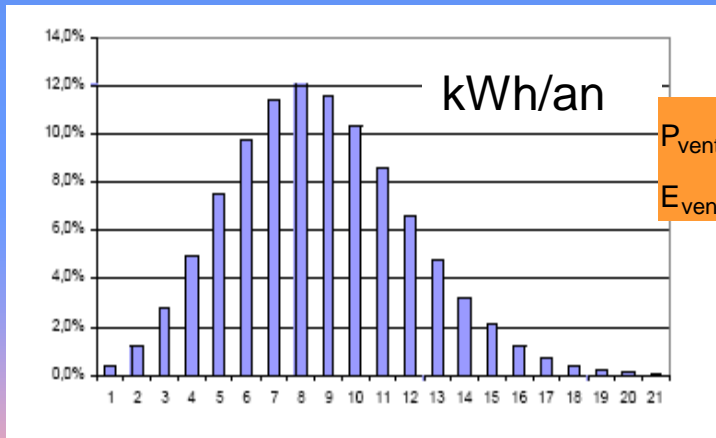
Vitesse et énergie du vent

L'anémomètre → vitesse du vent

La girouette → direction du vent

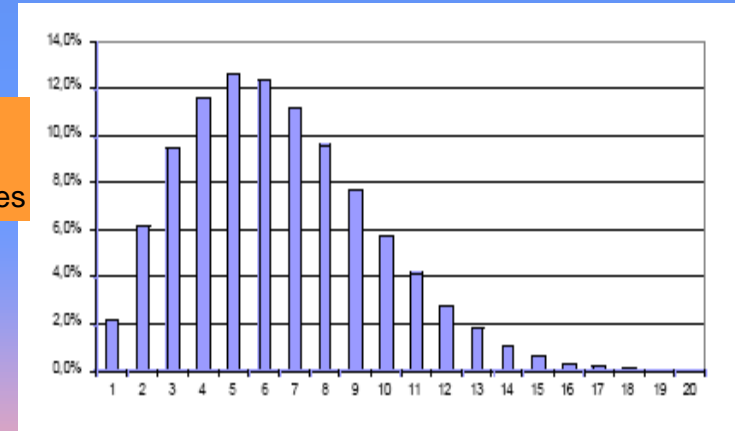


La rose des vents



$$P_{vent} = \frac{1}{2} \rho S V^3$$

$$E_{vent} = P_{vent} \times \text{Nb Heures}$$



Distribution de l'énergie du vent sur une année

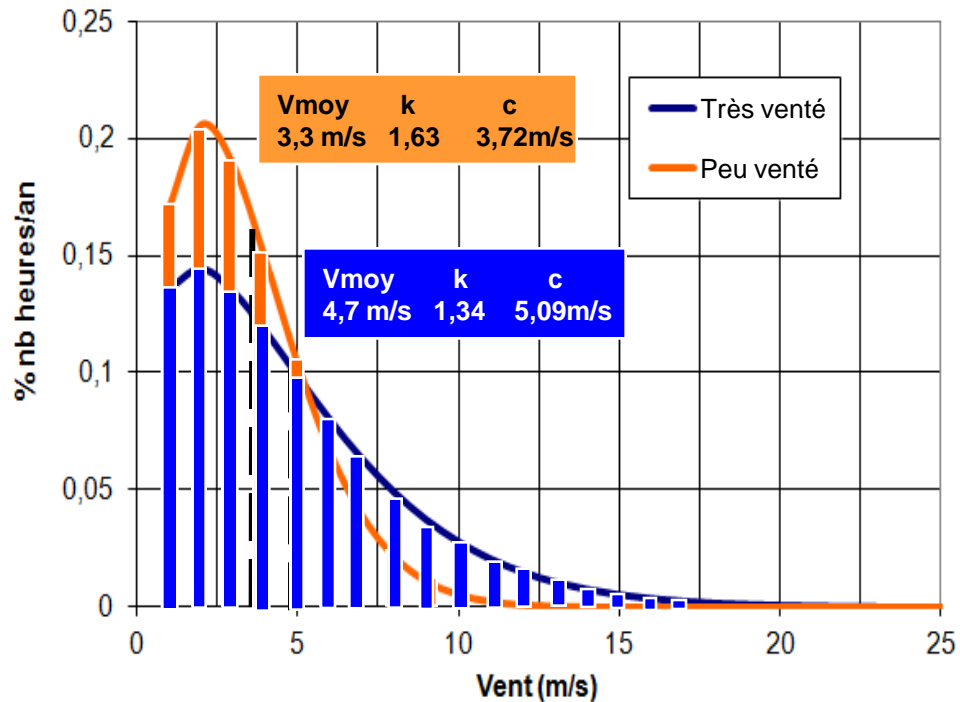
Distribution de la vitesse du vent sur une année

Fréquence en % du nb. d'heures annuelles en fct de V(m/s)

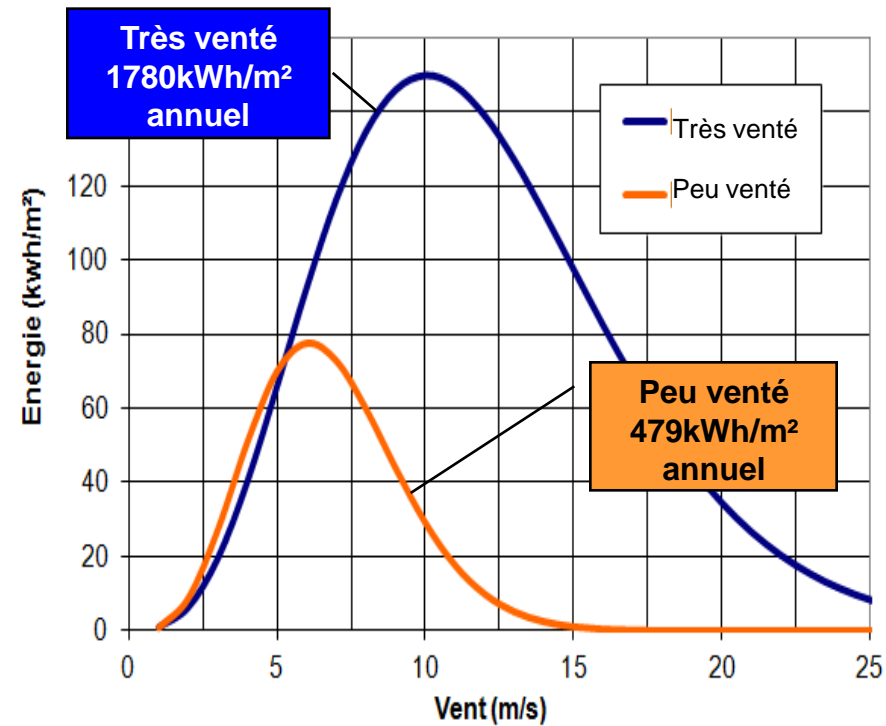
Comparaison de sites éoliens

Altitude de prises de mesures : 40m

Histogramme de vent de 2 sites en 2012



Energie du Vent de 2 sites en 2012



k et c sont les paramètres de la distribution de Weibull

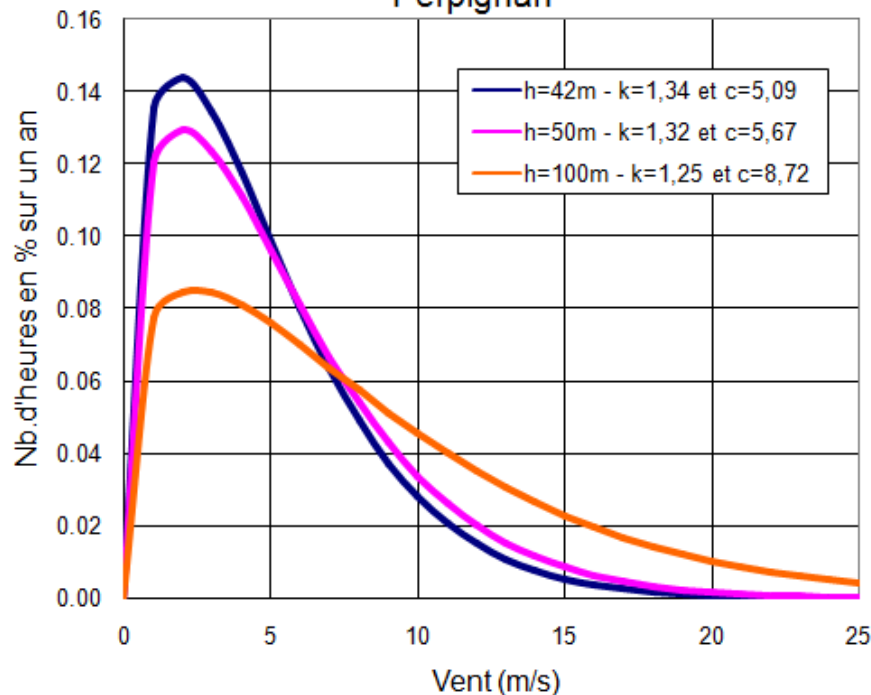
$$f(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k}$$

Distribution de Weibull avec l'altitude

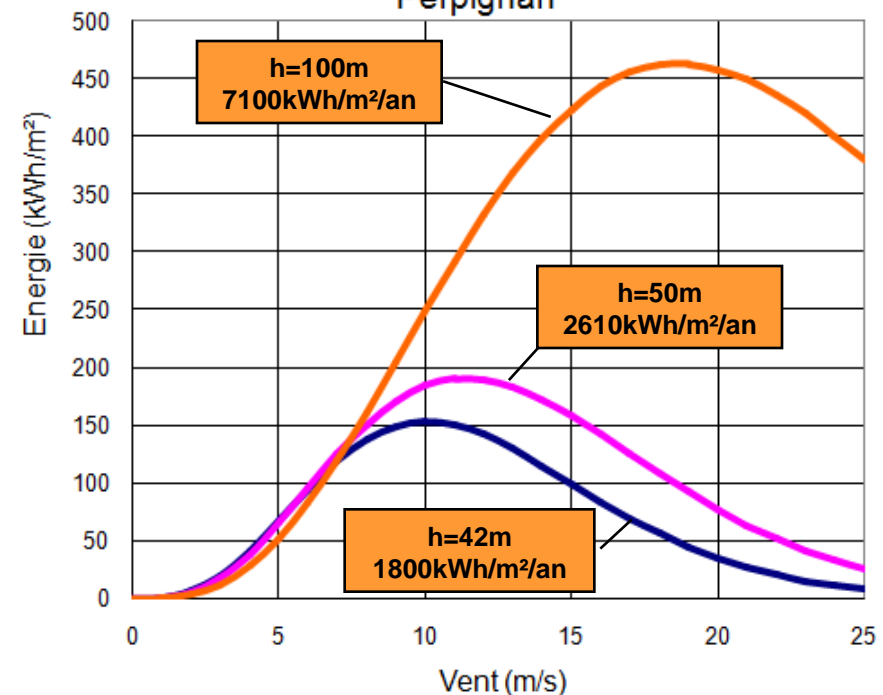
Non seulement, la vitesse du vent augmente avec l'altitude, mais il en est de même avec **distribution de Weibull** qui voit ses **paramètre k et c varier avec l'altitude** (méthode de Justus et Mikhaïel [1]).

de 42m → 100m $E_{vent} \times 4$

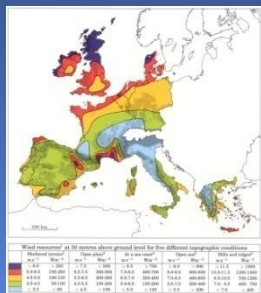
Distribution du vent en fonction de l'altitude
Perpignan



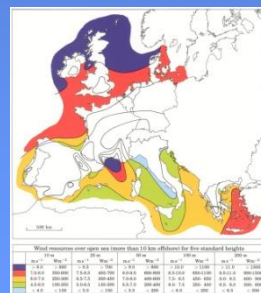
Energie du vent en fonction de l'altitude
Perpignan



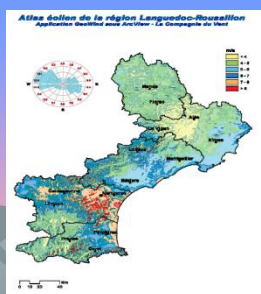
Potentiel éolien d'un site



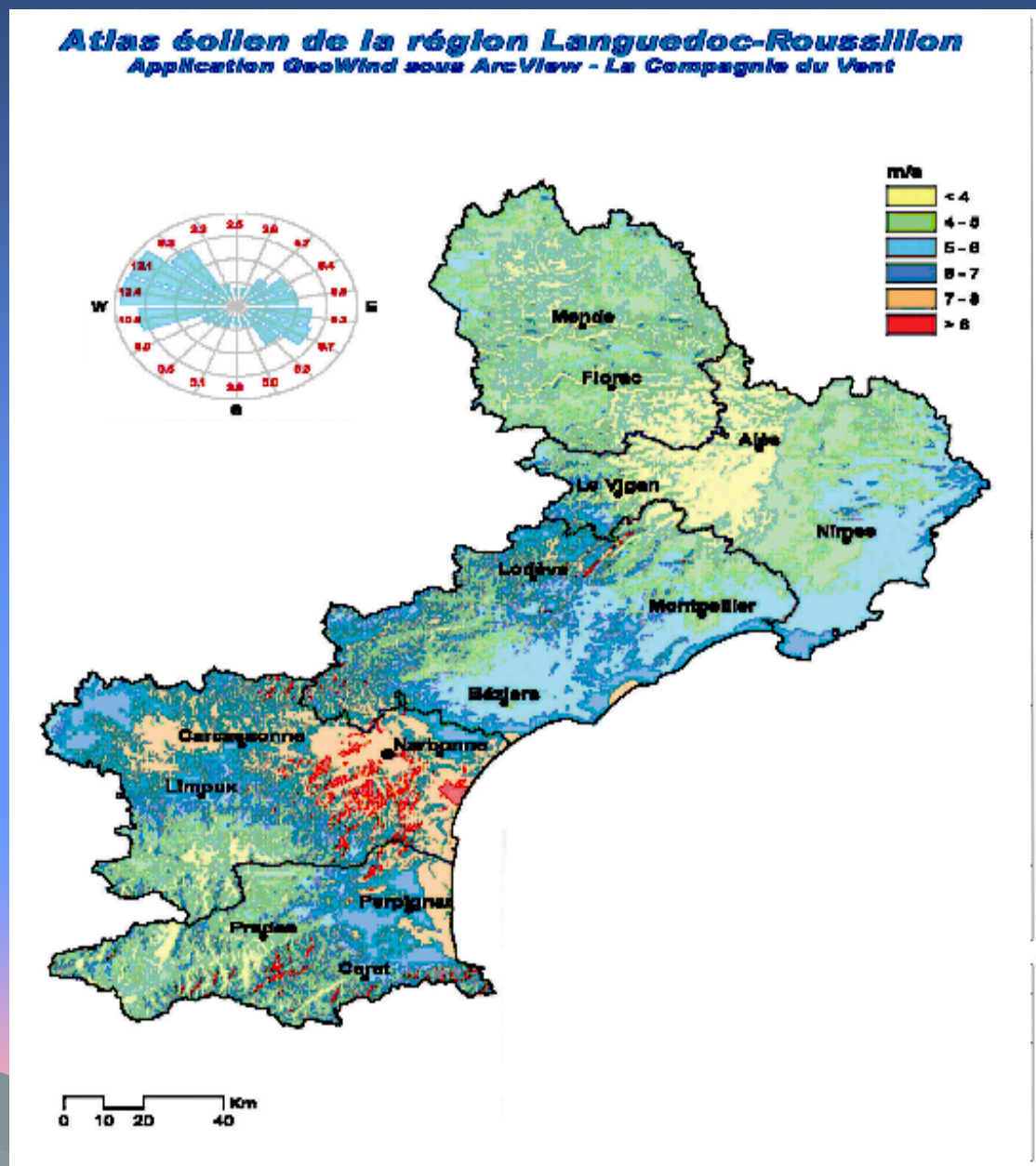
Eolien terrestre



Eolien en mer



13 Eolien terrestre région L-R

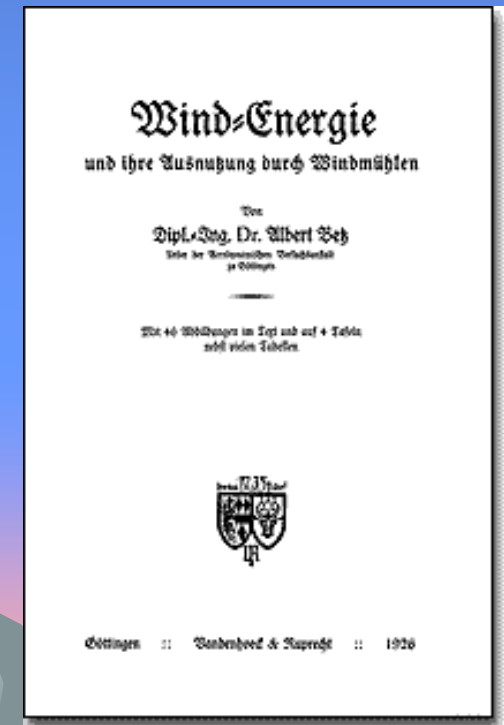


Théorie de BETZ

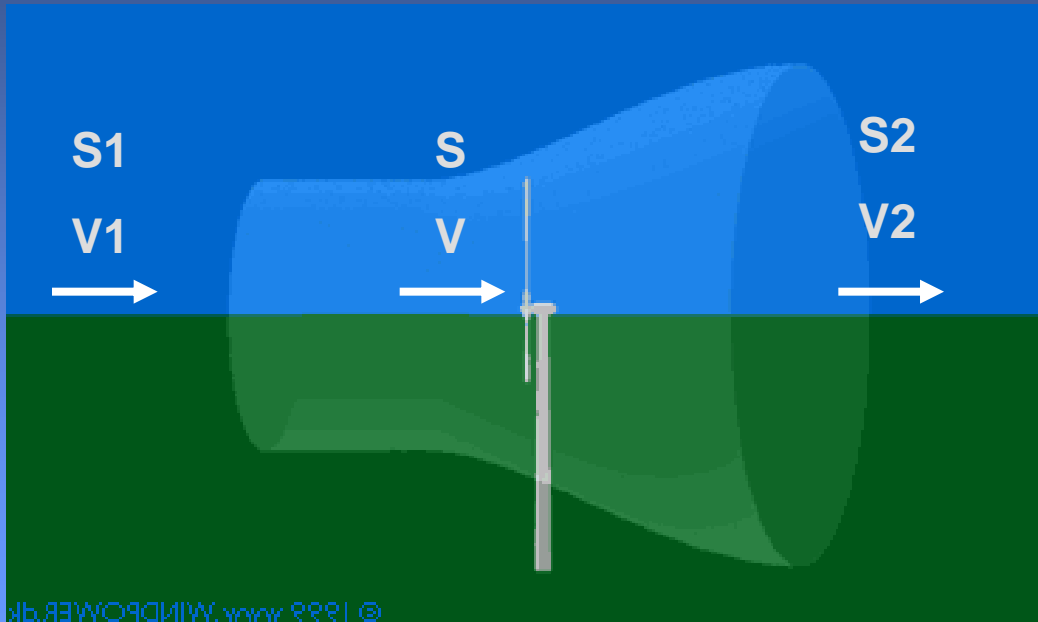
- Résultats découverts par le physicien Albert BETZ en 1919.



- Permet de calculer la puissance du vent que l'éolienne intercepte.



Théorie de BETZ

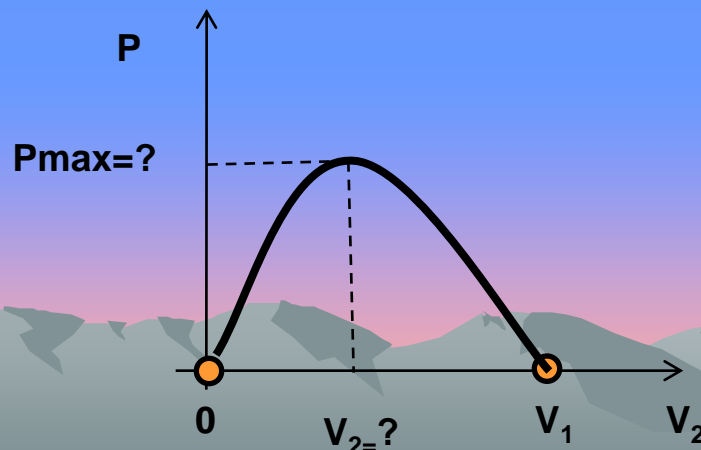


La présence de l'éolienne induit nécessairement un ralentissement du vent, donc :

$$0 < V_2 < V_1$$

Du fait de l'incompressibilité de l'air et de la constance du débit, on en déduit que :

$$S_2 > S > S_1$$



Problématique de BETZ

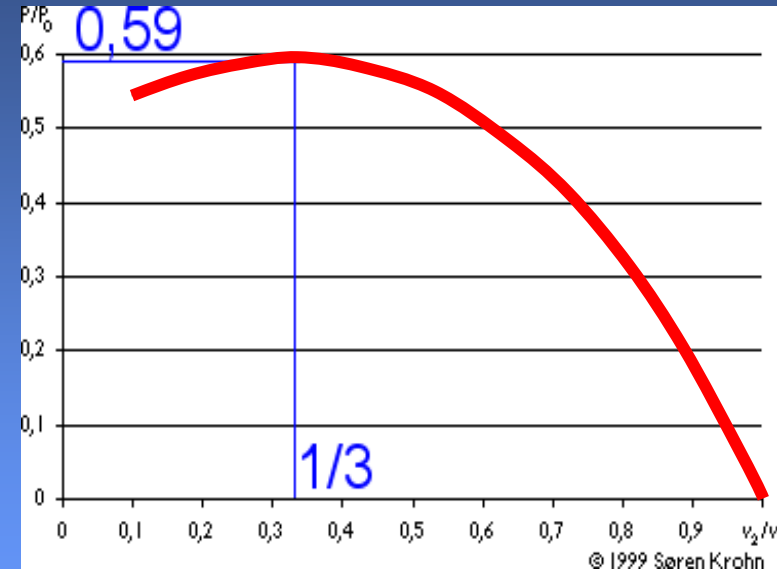
Chercher pour quelle valeur de V_2 , la puissance au niveau de l'éolienne sera maximale ?

Théorie de BETZ

En partant des **relations classiques de la mécanique** (puissance et force) et de la **différence d'énergie** entre l'entrée et la sortie du système, on démontre que :

La **puissance récupérée sur l'éolienne est maximale** quand le rapport :

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{3}$$

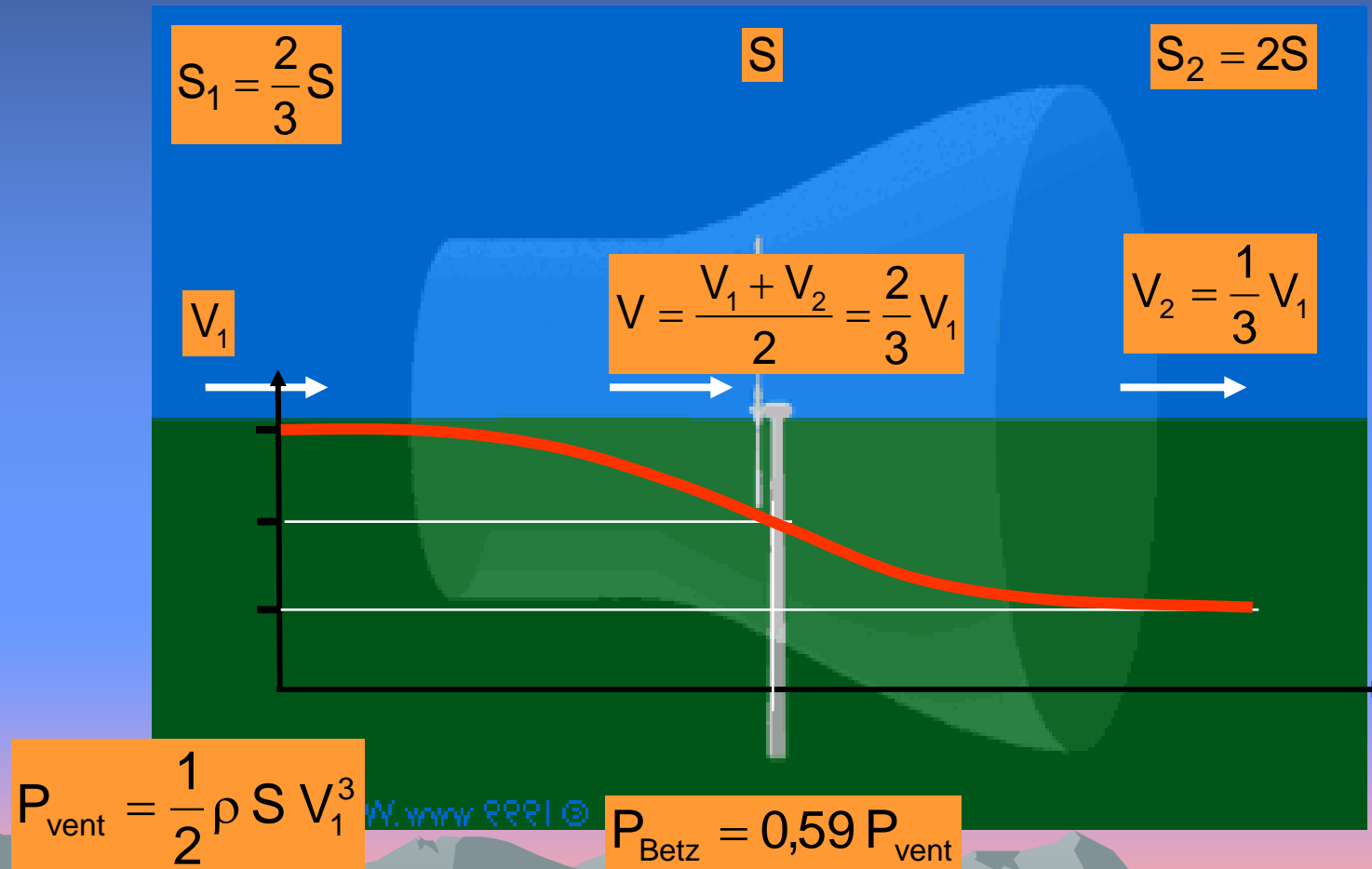


Ce qui donne une puissance maximum de :

$$P_{\max} = \frac{16}{27} P_{\text{vent}} = 0,59 P_{\text{vent}} = P_{\text{Betz}}$$

Une éolienne idéale ne pourrait récupérer au maximum que 59% de la puissance du vent

Théorie de BETZ - Résumé



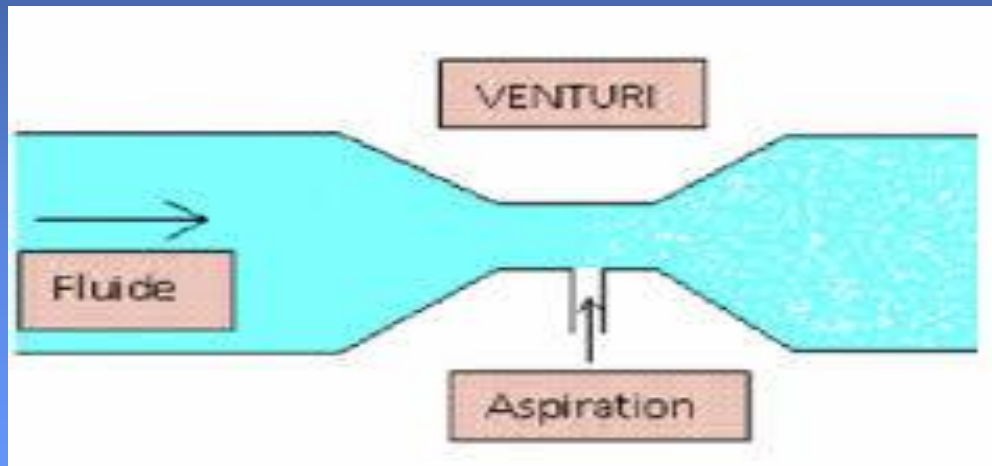
Loi de BERNOULLI

Loi de conservation du débit : $Q_1=Q_2=Q_3$

$S_3 \searrow$ $V_3 \nearrow$

Débit entrant

$$Q_1=S_1.V_1$$



Débit sortant

$$Q_2=S_2.V_2$$

Loi de Bernoulli : sur une ligne de courant

Pression totale = pression locale (p) + pression dynamique ($1/2\rho V^2$) = Cte

Ce qui implique que lorsque :

V augmente $\Leftrightarrow p$ diminue

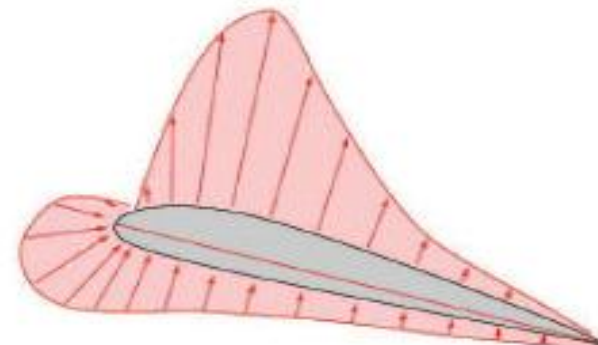
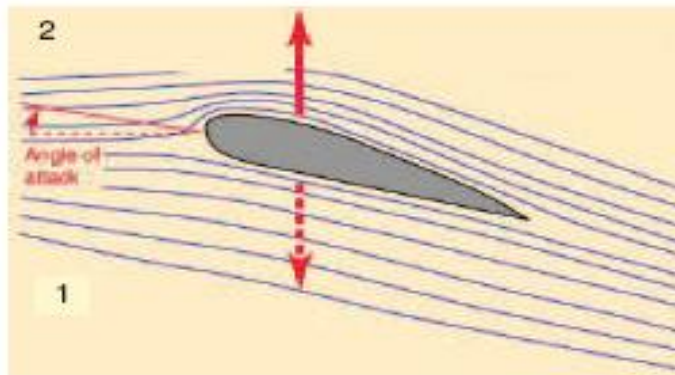
V diminue $\Leftrightarrow p$ augmente

Théorie de l'aile portante

Lorsqu'on **diminue la section** de l'écoulement d'un fluide :

- sa **vitesse** d'écoulement **augmente** (débit=Cte)
- sa **pression diminue** (Bernoulli)

Il y a une **dépression** sur le dessus de l'aile → **sustentation** ou **aspiration** de l'aile vers le haut.



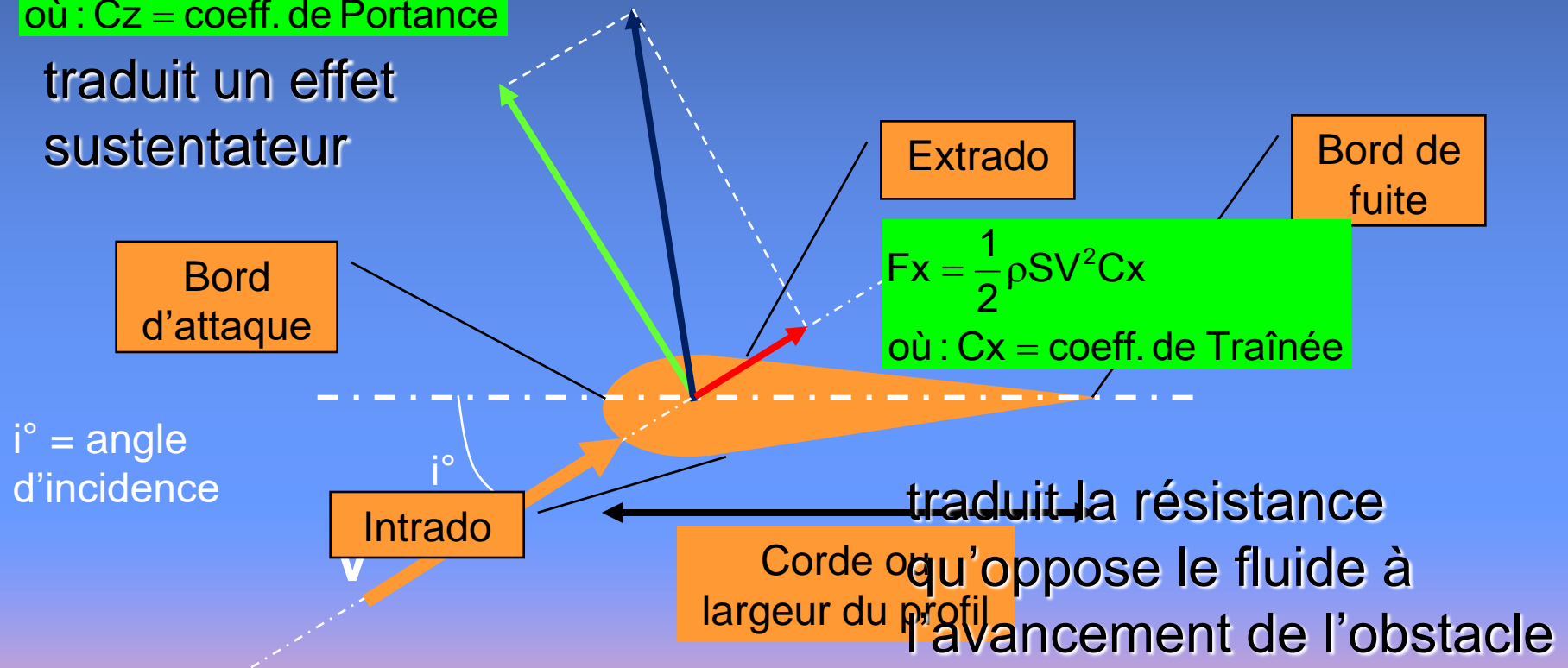
Portance et traînée

$$F_z = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_z$$

où : C_z = coeff. de Portance

traduit un effet sustentateur

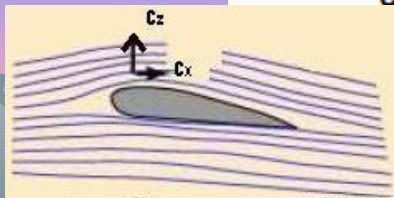
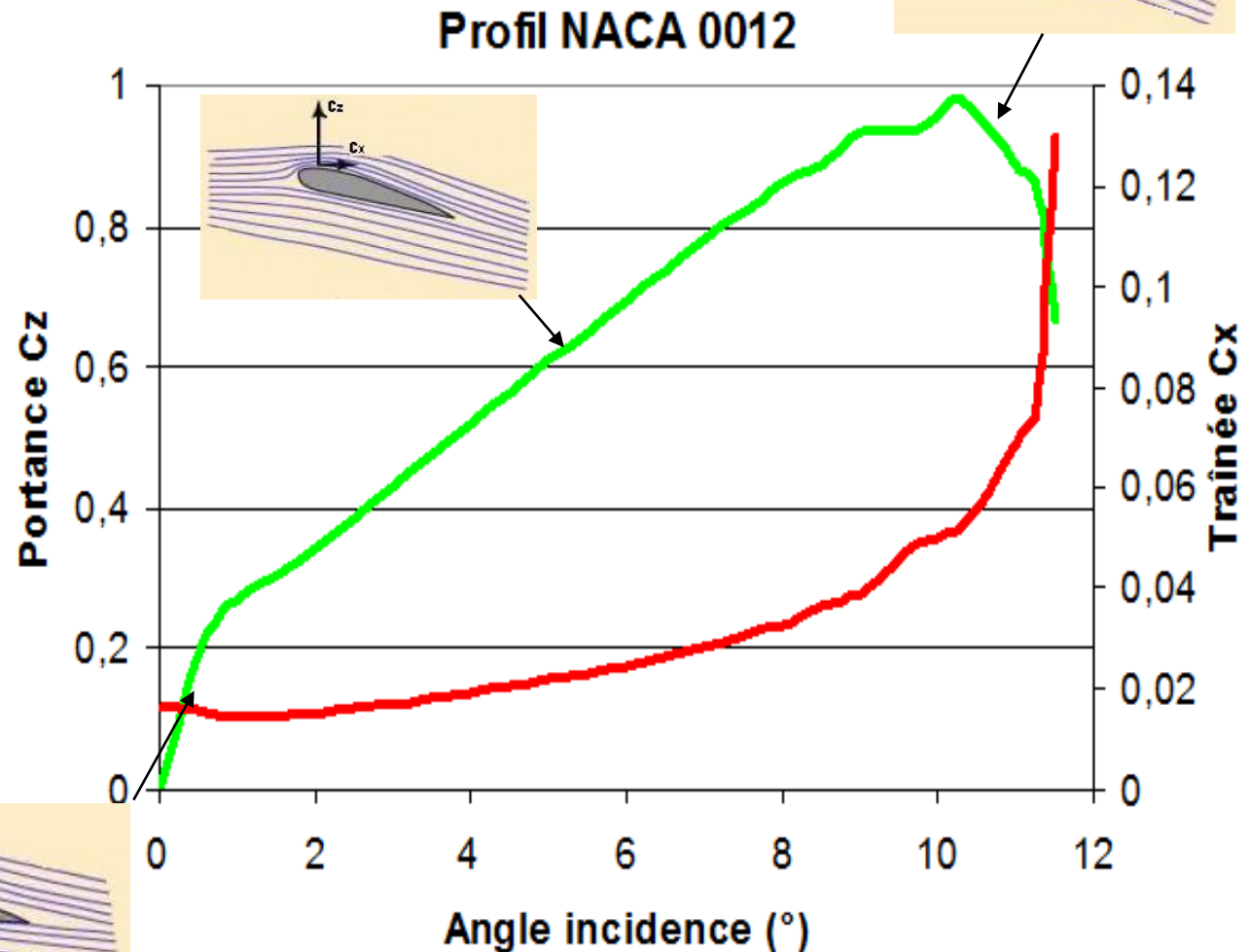
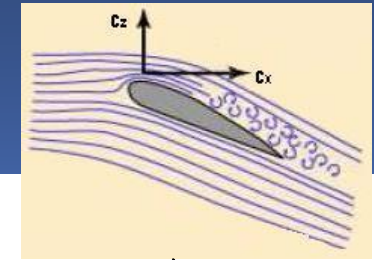
Résultante : F_R



Variation de C_z et C_x en fonction de l'incidence i

Portance max
pour $i = 11^\circ$

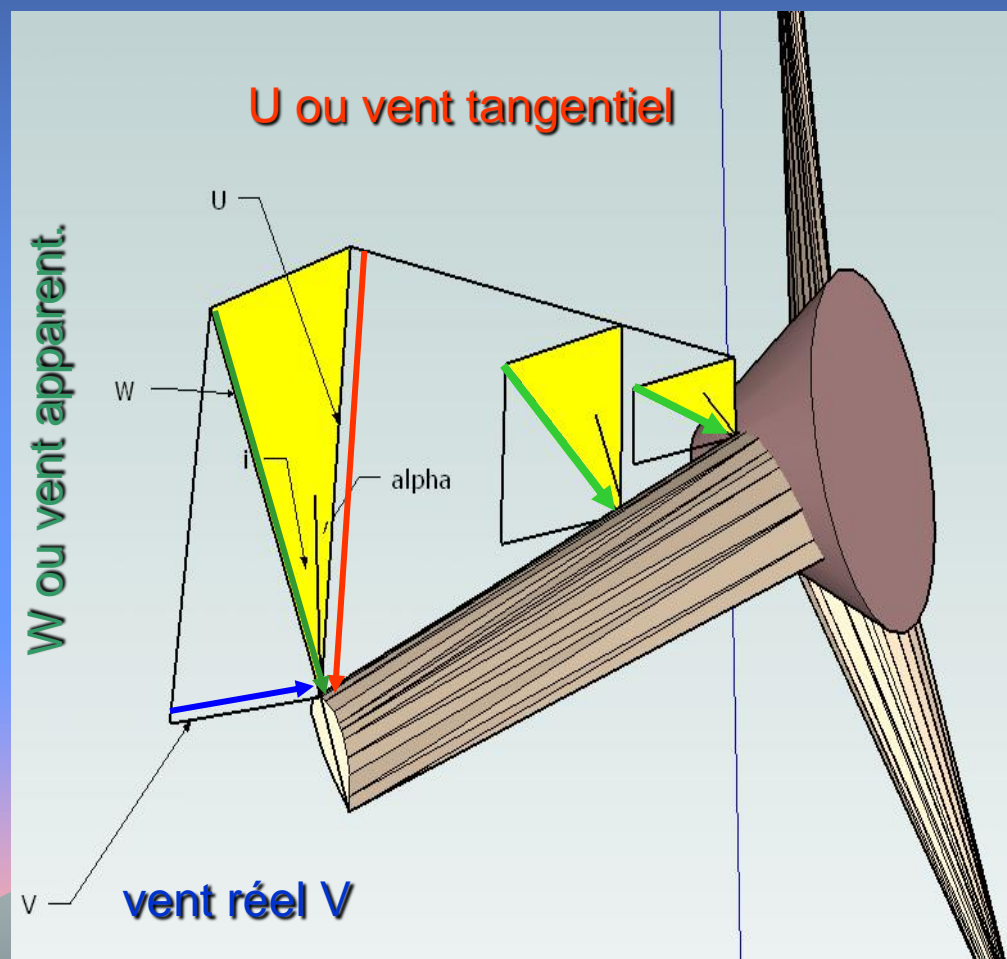
au delà,
décrochage de
l'aile



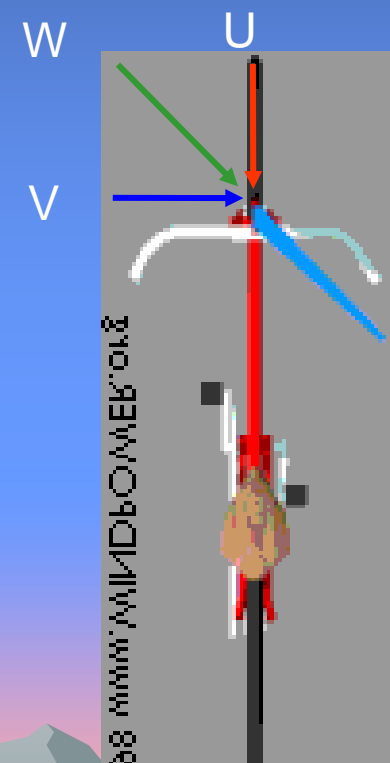
Les éoliennes à axe horizontal



Aérodynamique de la pale

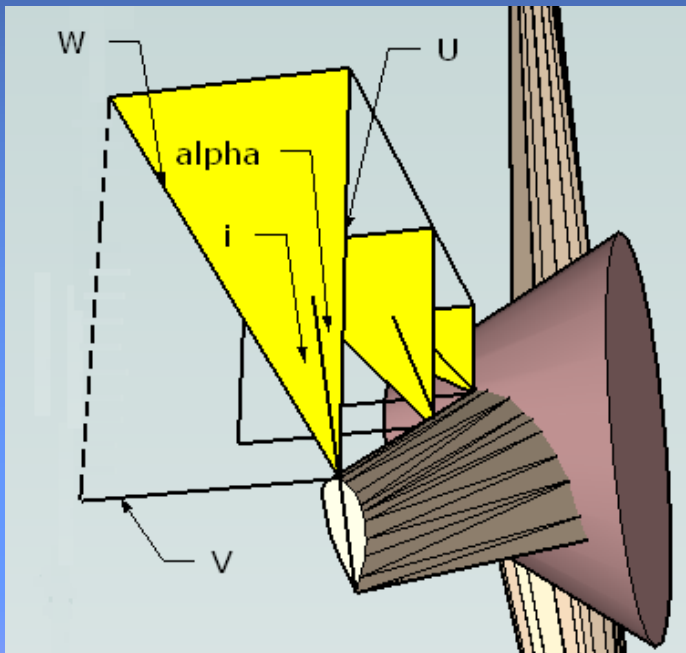


Le **vent apparent W** n'étant pas constant le long de la pale, pour garder une incidence comprise entre 0 et 12° , l'**angle de calage α** augmente lorsque l'on se rapproche de l'axe du rotor.



La pale est vrillée

Vitesse spécifique



$$\lambda = \frac{\text{Vit. tangentielle}}{\text{Vit. du vent}}$$

$$\lambda_0 = \frac{U_0}{V_1} = \frac{2\pi NR}{V_1}$$

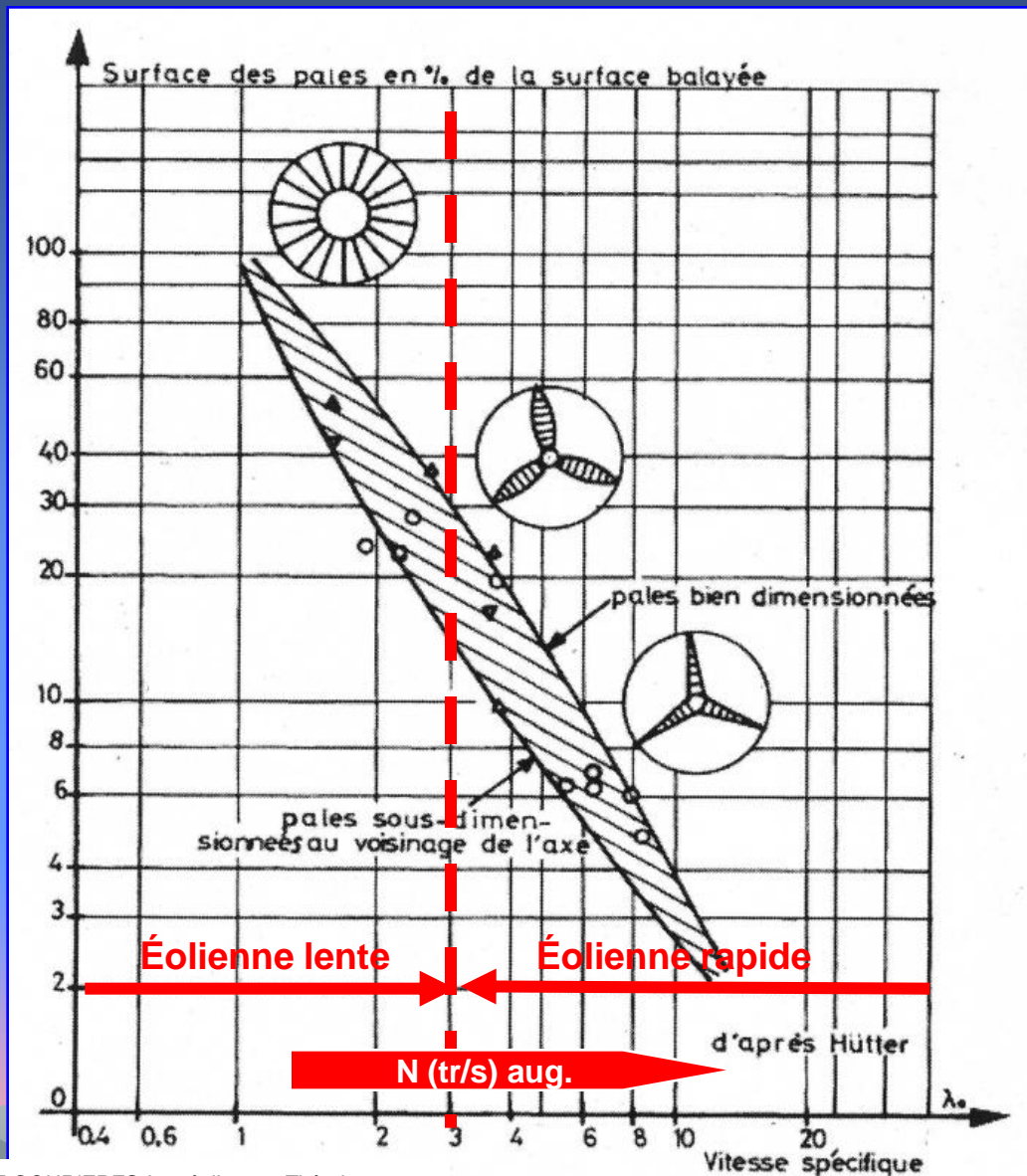
lente $< \lambda_0 = 3 <$ rapide

Eolienne Tripale : $\lambda_0=7 \rightarrow$ éoliene rapide

Eolienne Américaine : $\lambda_0=1,5 \rightarrow$ éoliene lente

Eolienne rapide Eolienne lente

*Les machines
tourneront d'autant
plus vite qu'elles
seront légères.*

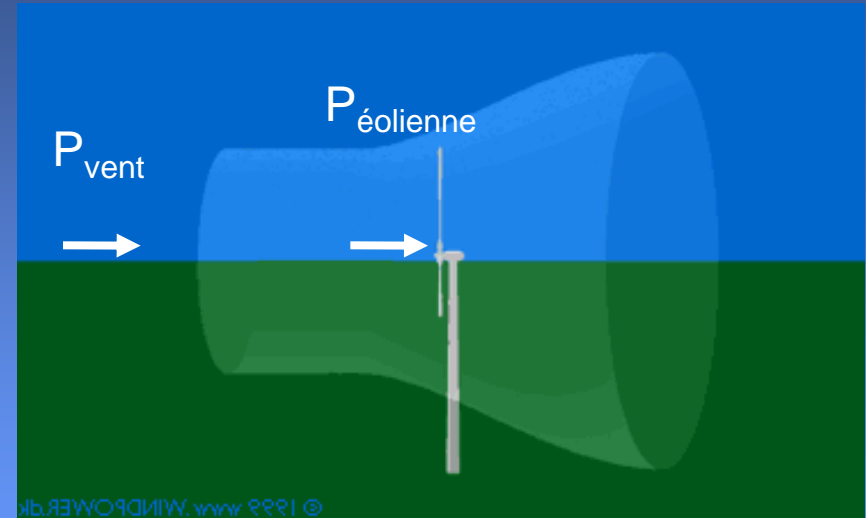


Puissance récupérable par une éolienne

A cause de la vitesse non nulle de l'air derrière l'aéromoteur $P_{\text{éolienne}} < P_{\text{vent}}$

On définit alors, le coefficient de puissance de l'aéromoteur

par la relation :

$$C_P = \frac{P_{\text{éolienne}}}{P_{\text{vent}}}$$


Ainsi la puissance de l'éolienne s'écrit :

$$P_{\text{éolienne}} = C_P P_{\text{vent}} = \frac{1}{2} \rho S C_p V_1^3$$

Avec comme **puissance maximum** récupérable celle donnée par la limite de **BETZ**

$$P_{\text{Betz}} = \frac{16}{27} P_{\text{vent}} = 0,59 P_{\text{vent}}$$

ainsi :

$$0 < C_{p\text{éolienne}} < 0,59$$

Une éolienne réelle pourra récupérer moins de 59% de l'énergie du vent.

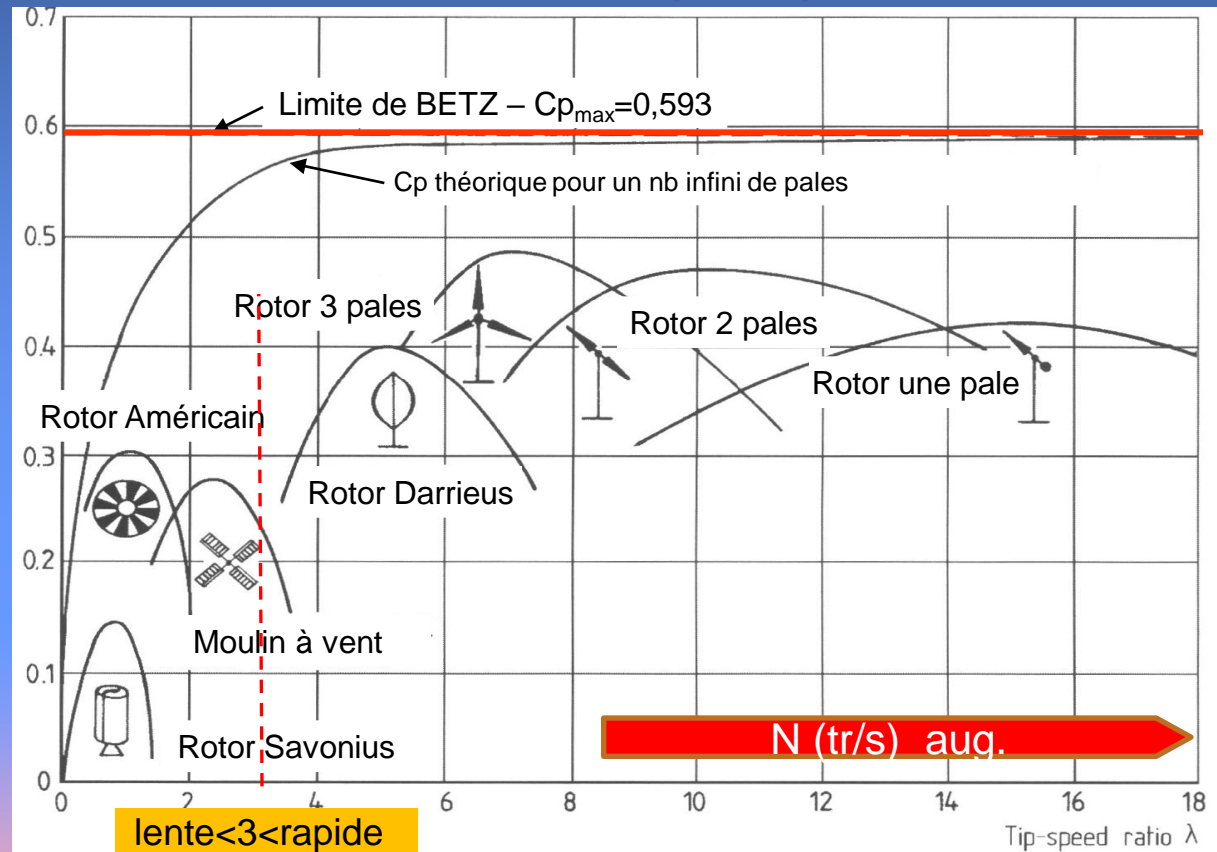
Coefficient de puissance

La valeur du **coefficient de puissance C_p** dépend de la vitesse de rotation de la turbine, et peut s'exprimer en fonction de la vitesse spécifique λ_0 :

$$\lambda_0 = \frac{U_0}{V_1} = \frac{2\pi NR}{V_1}$$

U_0 (m/s): vitesse tangentielle en bout de pale

N (tr/s): vitesse de rotation du rotor



Les meilleures machines à axe horizontal, bipale ou tripale, se situent à 60-65 % de la limite de Betz : au final, on ne récupère donc globalement que 40 à 50% de l'énergie due au vent.

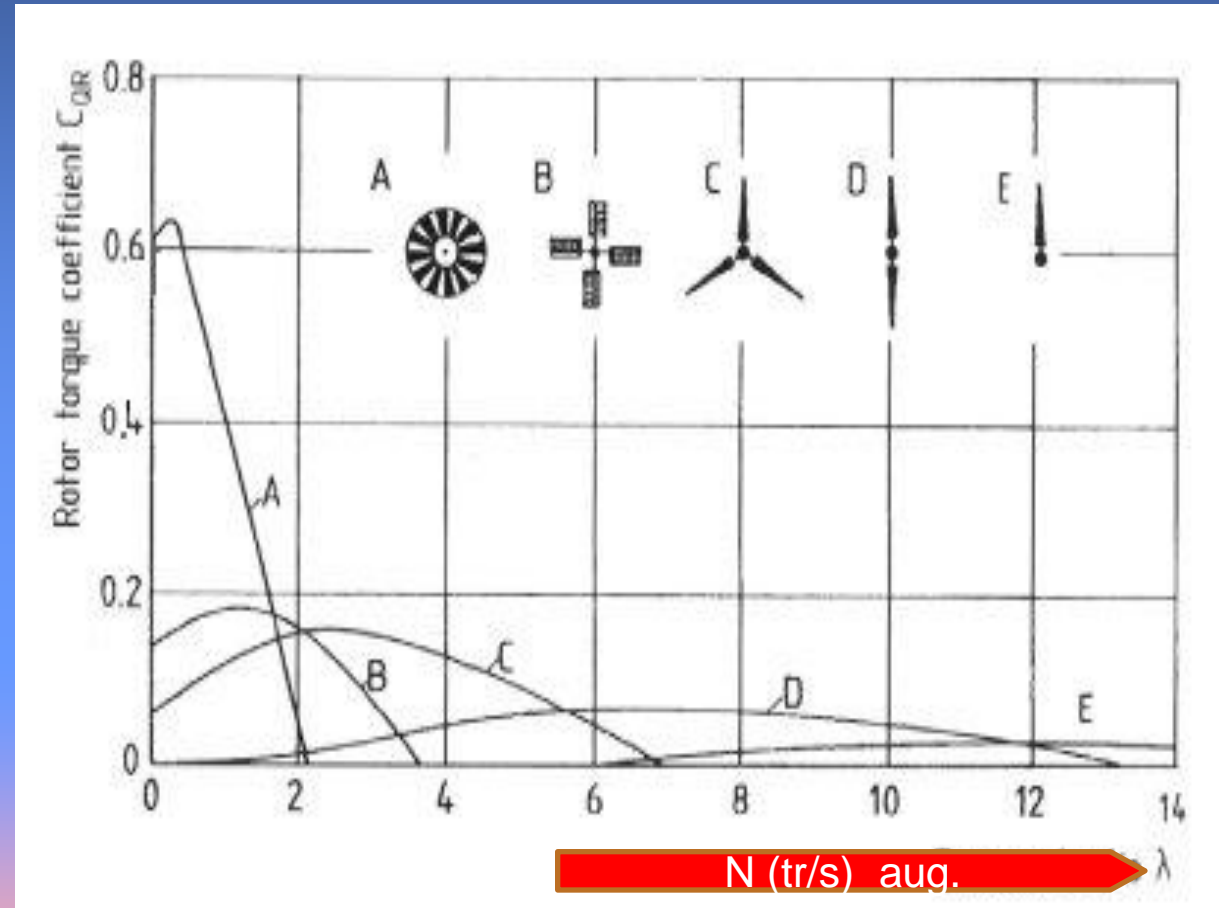
Coefficient de moment

$$P = C\omega = C2\pi N$$

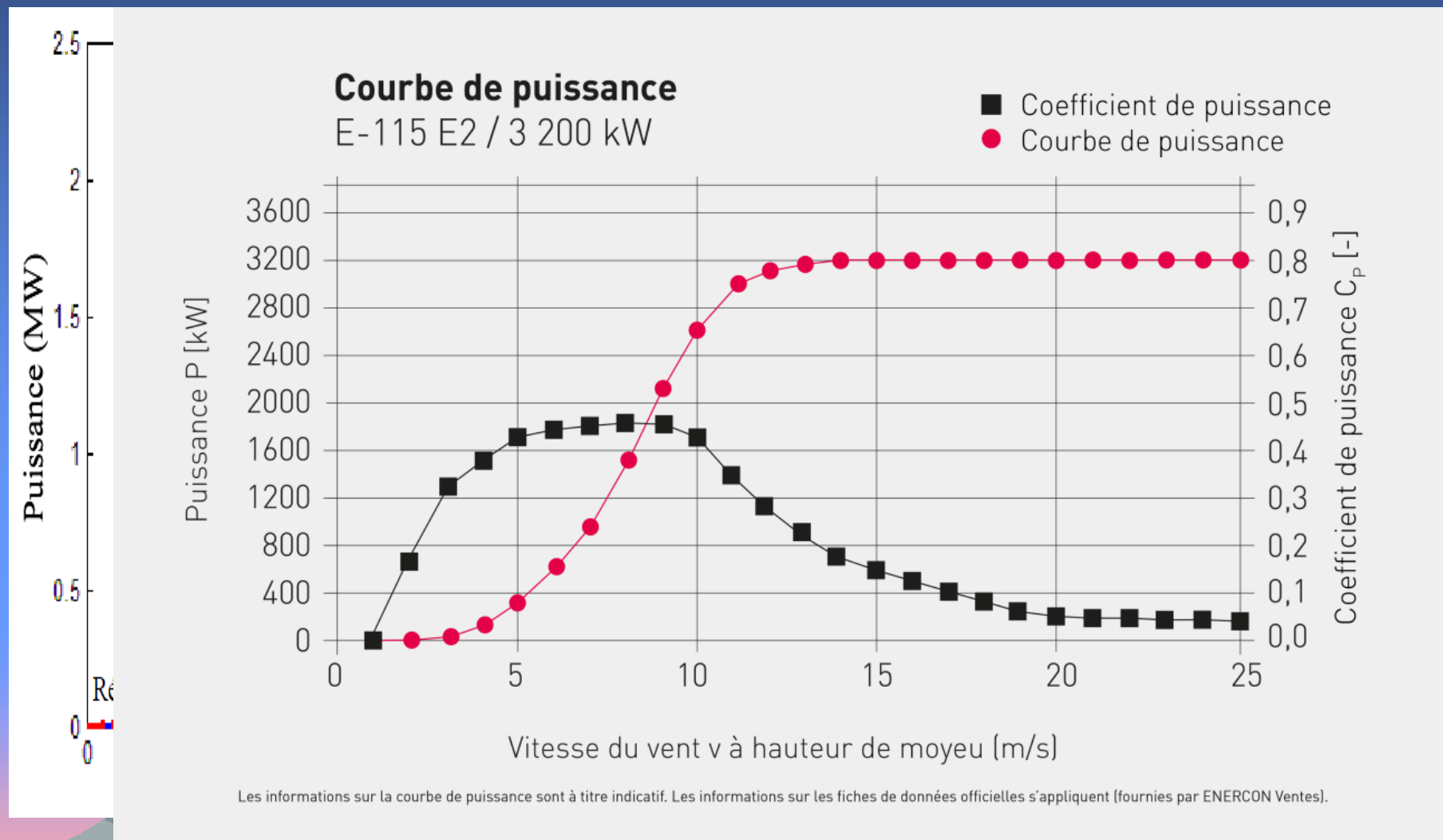
Où

C : couple moteur (Nm)

N : vitesse de rotation (tr/s)



Courbe de puissance d'une éolienne tripale



Necessite de limiter $N(\text{tr/s})$ pour que $U_0 \leq 300 \text{ km/h}$

c-à-d $V_{\text{vent}} \leq U/\lambda_0 = U/7 \approx 12 \text{ m/s}$

Energie récupérée par une éolienne sur un site donné

	href (m)	hrotor(m)
	42	100
k	1,34	1,25
c	5,09	8,72

$E = P \cdot \text{Freq} \cdot 8760h$

$E_{\text{éolienne}} = P_{\text{éolienne}} \cdot \text{Freq} \cdot 8760h$

Vvent (m/s)	Freq	Freq	E_vent_MWh	ENERCON_115_E2 Peolienne (kW)	E_éole_MWh
0	0,000	0,000	0,0	0	0
1	0,135	0,078	4,5	0	0
2	0,144	0,084	38,9	0	0
3	0,134	0,084	131,1	47	35
4	0,118	0,081	298,4	133	94
5	0,099	0,076	546,3	316	210
6	0,080	0,070	870,1	633	388
7	0,063	0,064	1257,5	950	530
8	0,049	0,057	1691,1	1518	763
9	0,037	0,051	2150,7	2114	949
10	0,028	0,045	2616,2	2614	1041
11	0,021	0,040	3068,2	2989	1049
12	0,015	0,035	3490,1	3104	954
13	0,011	0,031	3868,1	3171	850
14	0,008	0,027	4191,9	3200	744
15	0,005	0,023	4454,7	3200	643
16	0,004	0,020	4652,7	3200	553
17	0,003	0,017	4785,1	3200	474
18	0,002	0,014	4853,7	3200	405
19	0,001	0,012	4862,0	3200	345
20	0,001	0,010	4815,3	3200	293
21	0,001	0,009	4719,5	3200	248
22	0,000	0,007	4581,6	3200	210
23	0,000	0,006	4408,6	3200	176
24	0,000	0,005	4207,5	3200	148
25	0,000	0,004	3985,0	3200	124
E total (MWh) =			74549	E total (MWh) =	11227
				F =	0,40



Productible = 11227 MWh/an
Facteur de charge = 40%

D=115m
H rotor = 100m

Facteur de charge ou disponibilité d'une éolienne ou d'un parc éolien

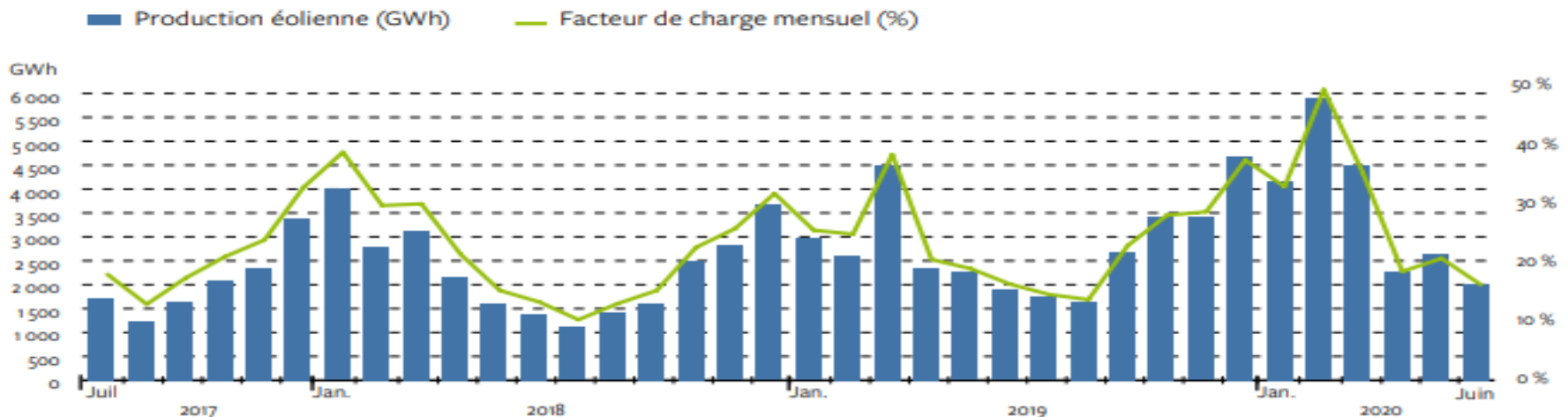
Correspond au rapport pour une période donnée entre la production effective et la capacité maximale de production :

$$F_{\text{charge}} (\%) = \frac{E_{\text{produite}}}{E_{\text{max}}}$$

Compris habituellement entre 20 et 40%

Production éolienne et facteur de charge mensuel

<http://www.rte-france.com/fr/article/panorama-de-l-electricite-renouvelable>



Annexes

- Panorama de l'électricité renouvelable
- Perspectives et emplois
- Impacts environnementaux de l'éolien français
- Démantèlement et recyclage d'un parc éolien

Panorama de l'électricité renouvelable

Site de RTE (France) :

<http://www.rte-france.com/fr/article/panorama-de-l-electricite-renouvelable>

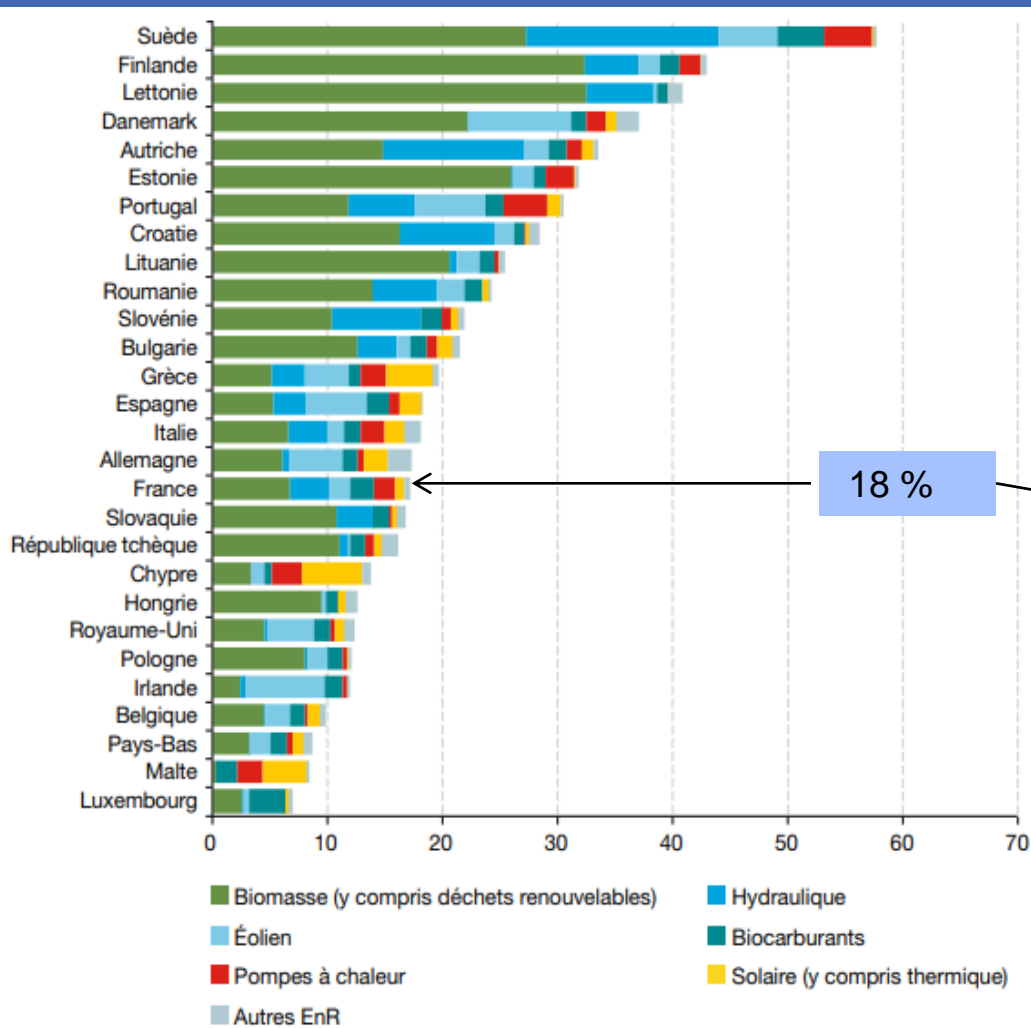
Site de WindEurope (Belgique) : <https://windeurope.org/>

Le Journal des Energies Renouvelables :

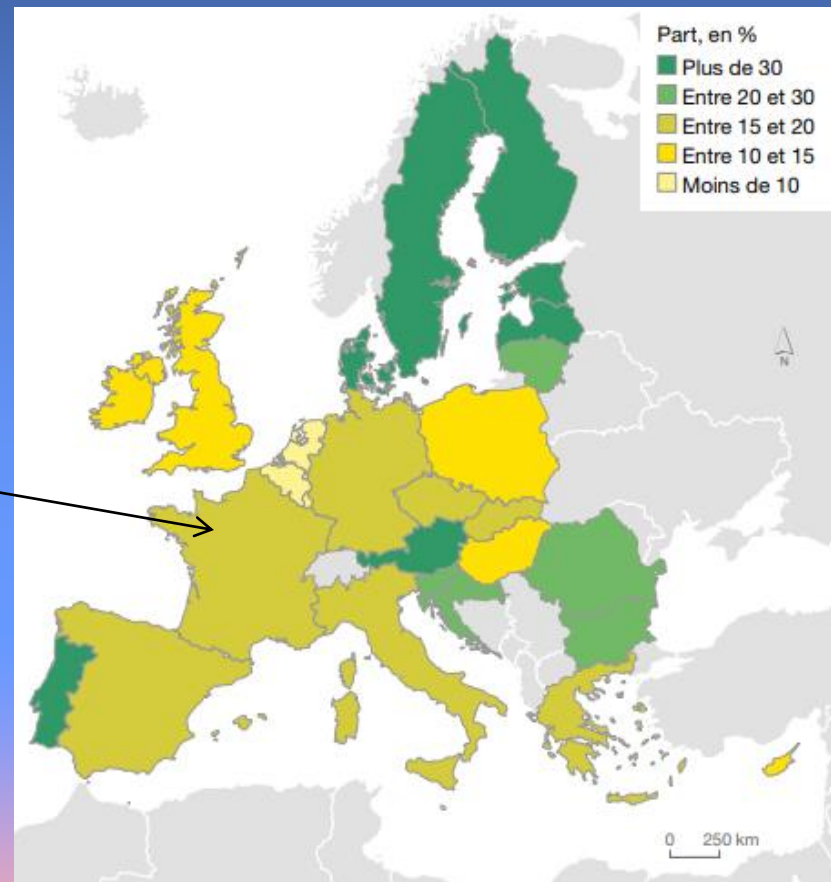
<https://www.journal-eolien.org/tout-sur-l-eolien/>

DÉCOMPOSITION DES EnR DANS LA CONSOMMATION FINALE BRUTE D'ÉNERGIE EN 2019 en (%) en Europe

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energies-renouvelables-2021/pdf/pages/partie4/21-la-place-de-la-france-en-matiere-denergies-renouvelables-en-europe-et-dans-le-monde.pdf>



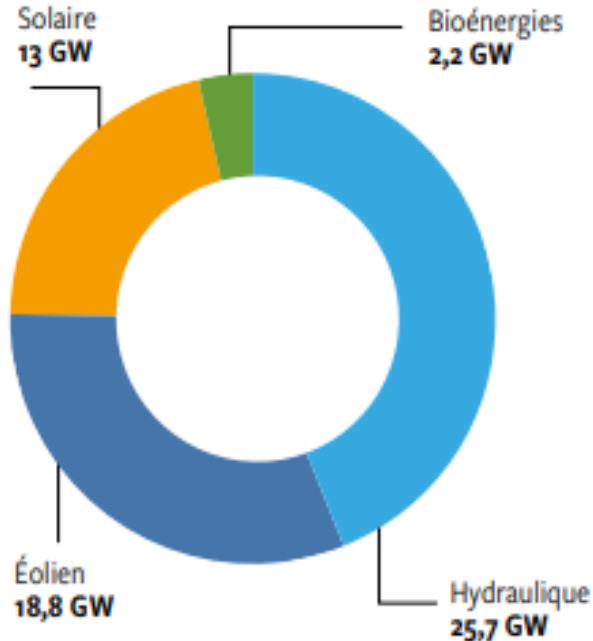
18 %



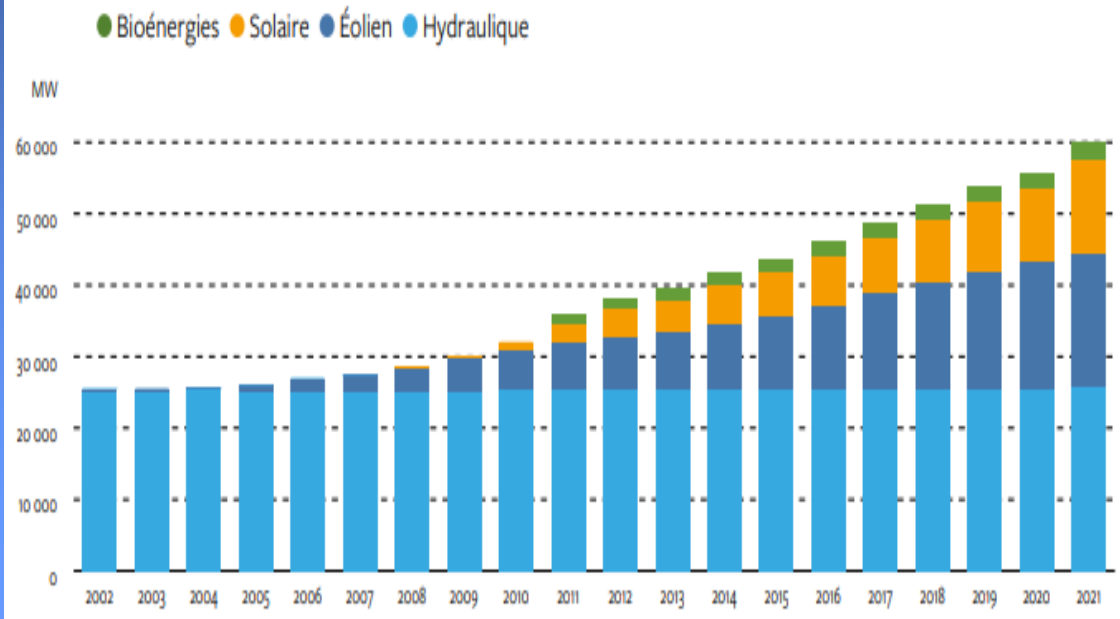
Puissance installée EnR en France

(31/12/2021)

Parc renouvelable au 31 décembre 2021



Évolution de la puissance installée

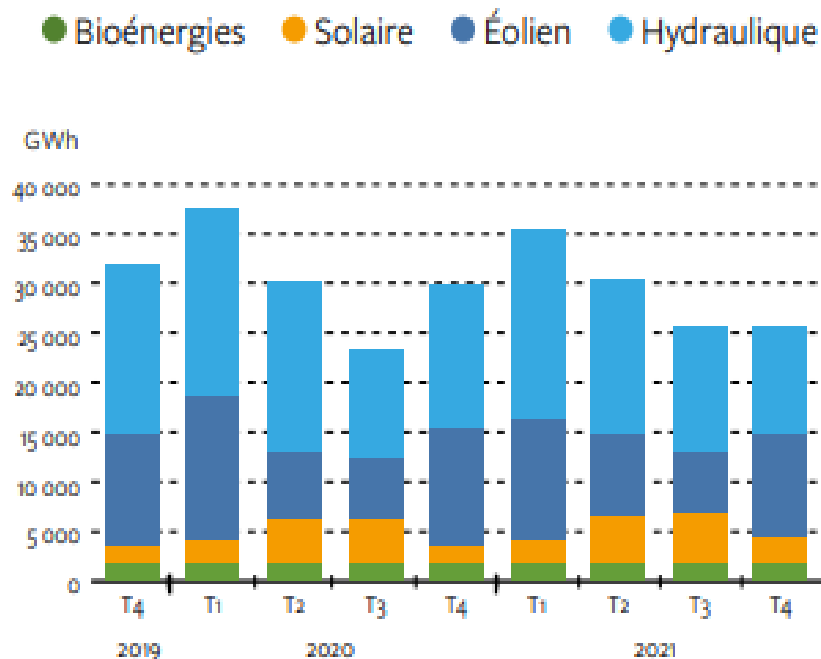


Parc renouvelable **59 781 MW**

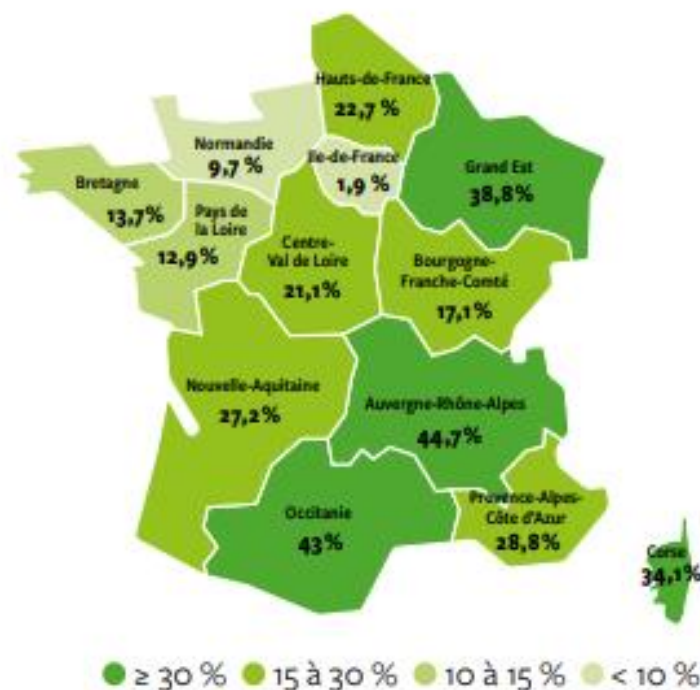
Production et couverture des besoins

EnR en France (31/12/2021)

Production renouvelable trimestrielle



Couverture de la consommation par la production renouvelable en 2021



117,5 TWh produits sur une année

L'électricité renouvelable couvre 24,9 % de l'électricité annuelle consommée en 2021.

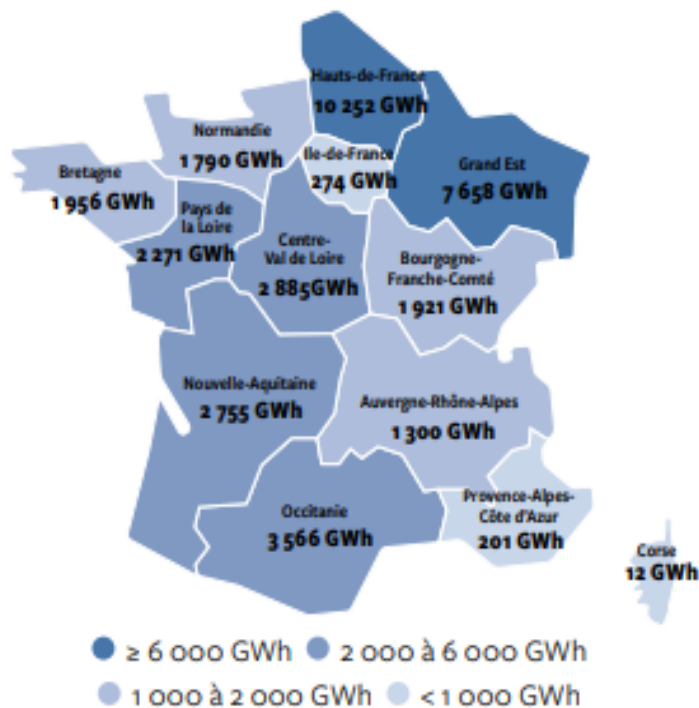
La filière **Eolienne** en **France** (31/12/2021)



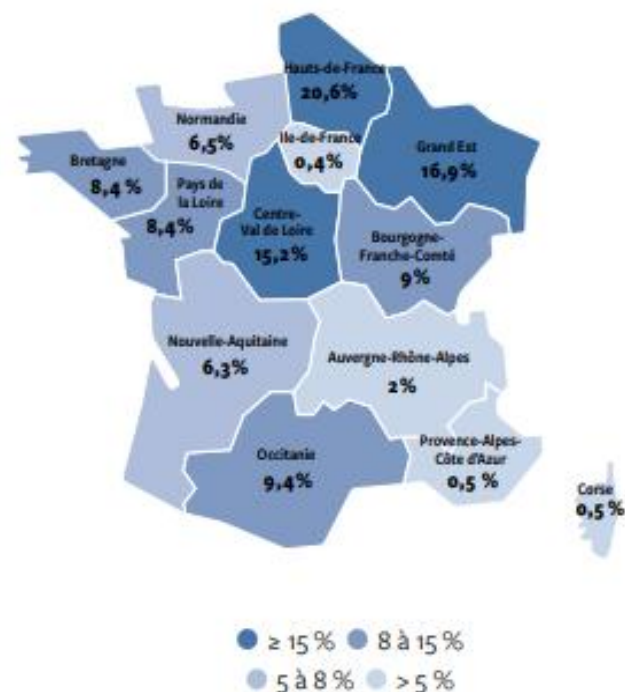
36,8 TWh produits en une année

**L'éolien couvre
7,8 %**
de l'électricité annuelle
consommée en 2021.

Production éolienne par région en 2021



**Couverture de la consommation
par la production éolienne en 2021**

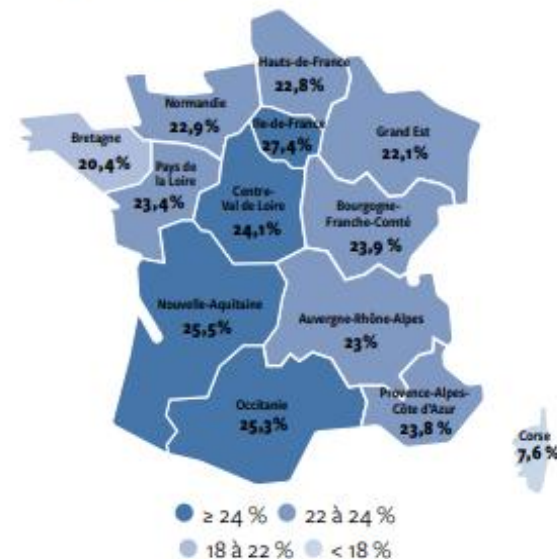


Facteur de charge éolien en France (31/12/2021)

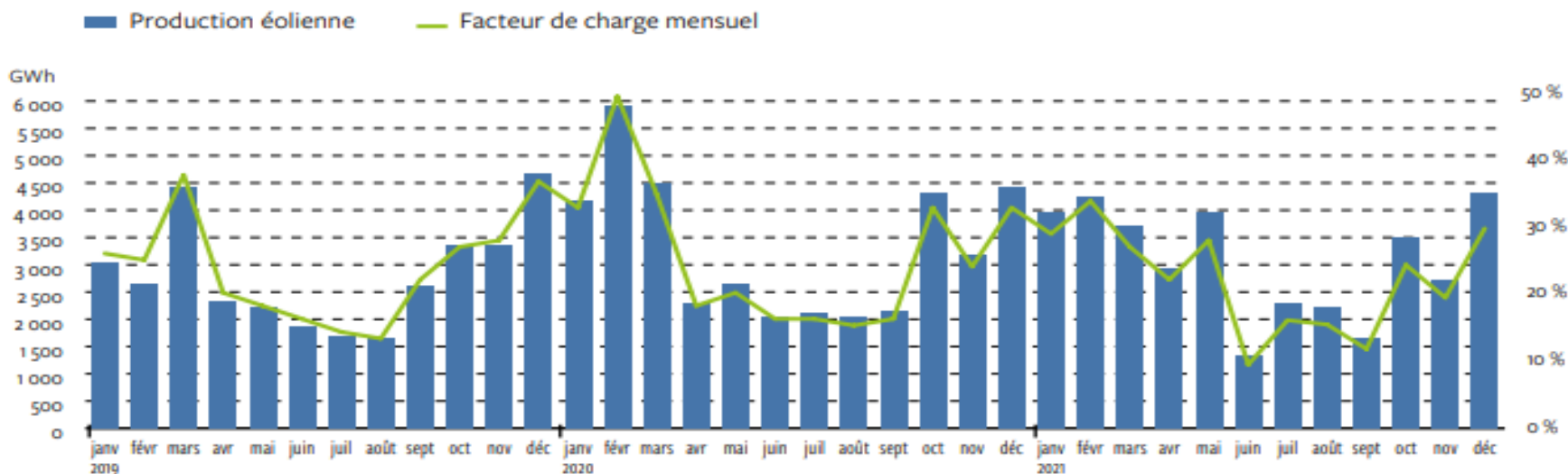


36,8 TWh produits en une année

Facteur de charge éolien moyen en 2021



Production éolienne et facteur de charge mensuel



Perspectives éolien en France (31/12/2021)

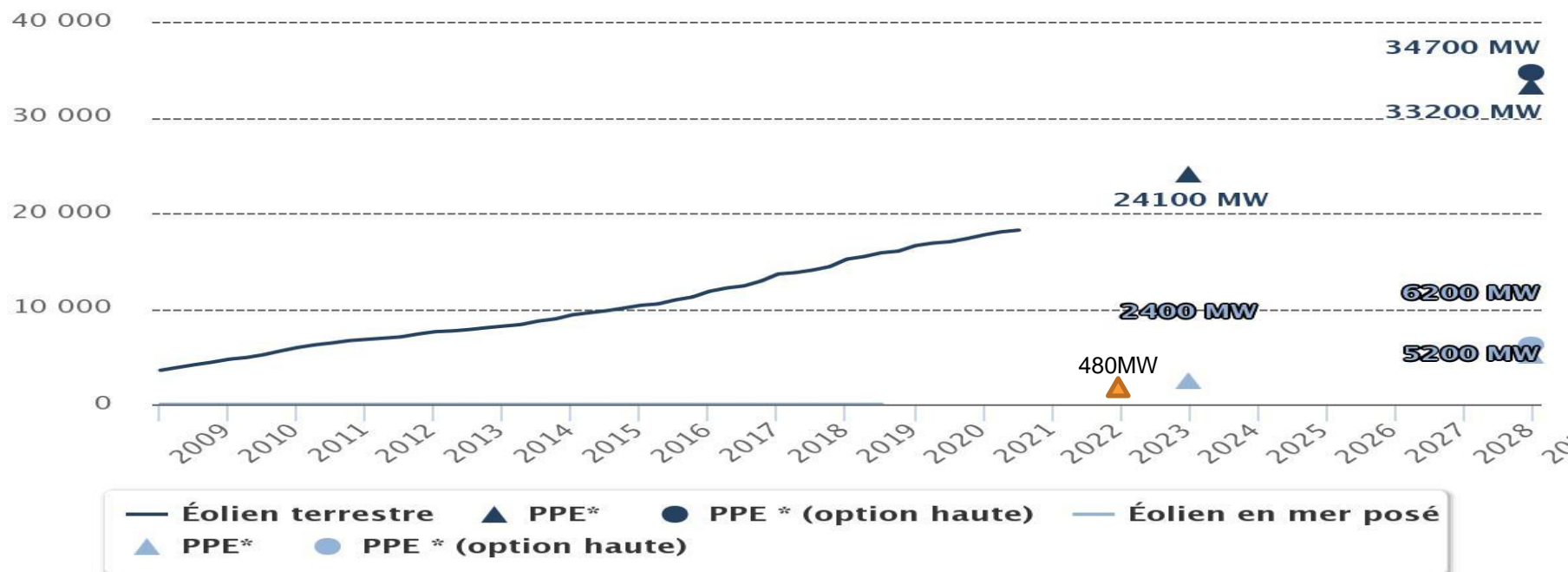
Objectif de la *Programmation pluriannuelle de l'énergie* (PPE) :

Eolien **terrestre** → de **18,8 GW (2021)** à 33,3-34,7 GW (2028)

Eolien **en mer**, posé et flottant → de **0,48GW (2022)** à 2,4 GW (2023) et à 5 GW (2028).

Évolution du parc éolien, en France continentale

Puissance en MW

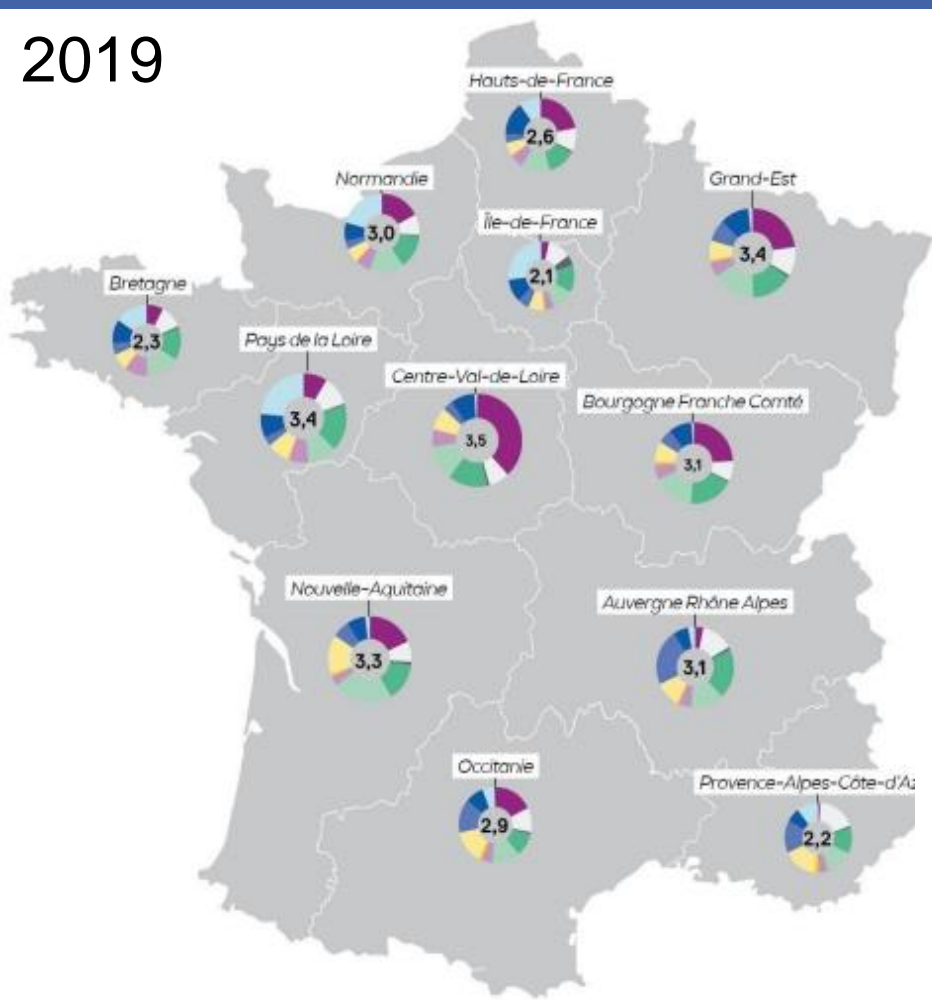


Etat des lieux des projets éoliens en mer en France (31/12/2021)

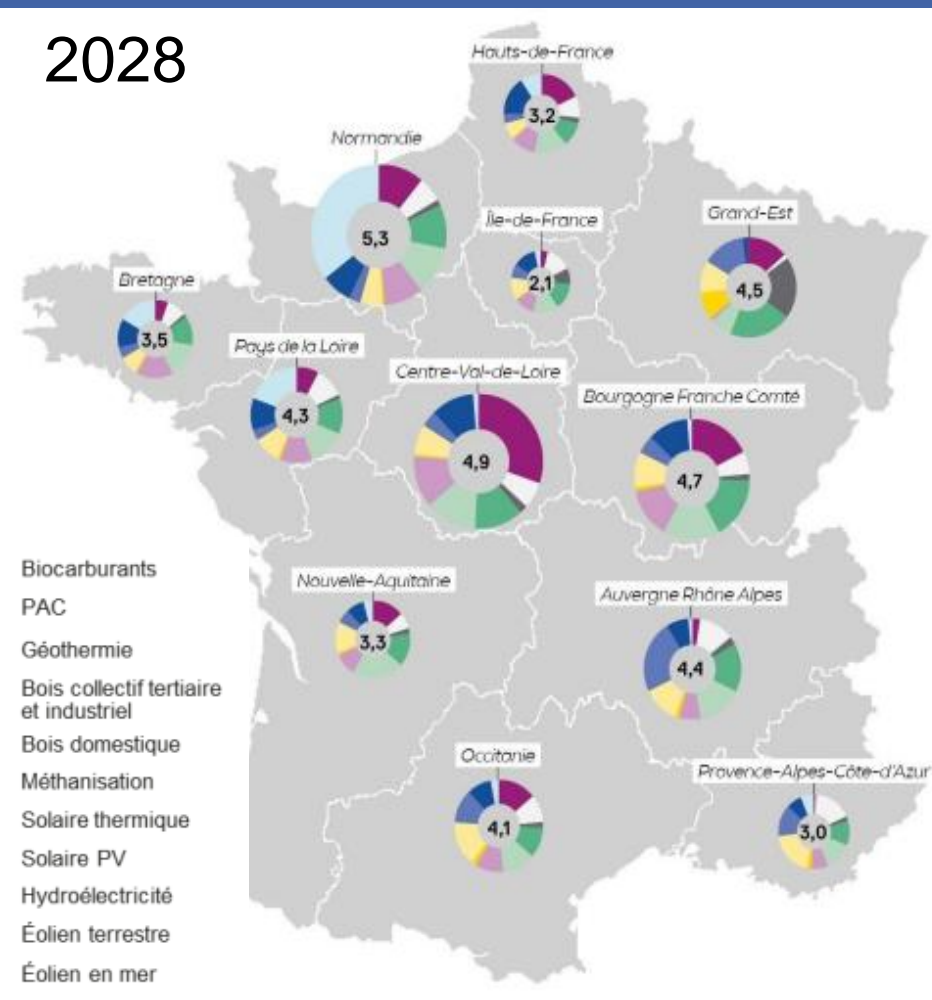


Nombre d'emplois pour 1000 habitants par région

2019

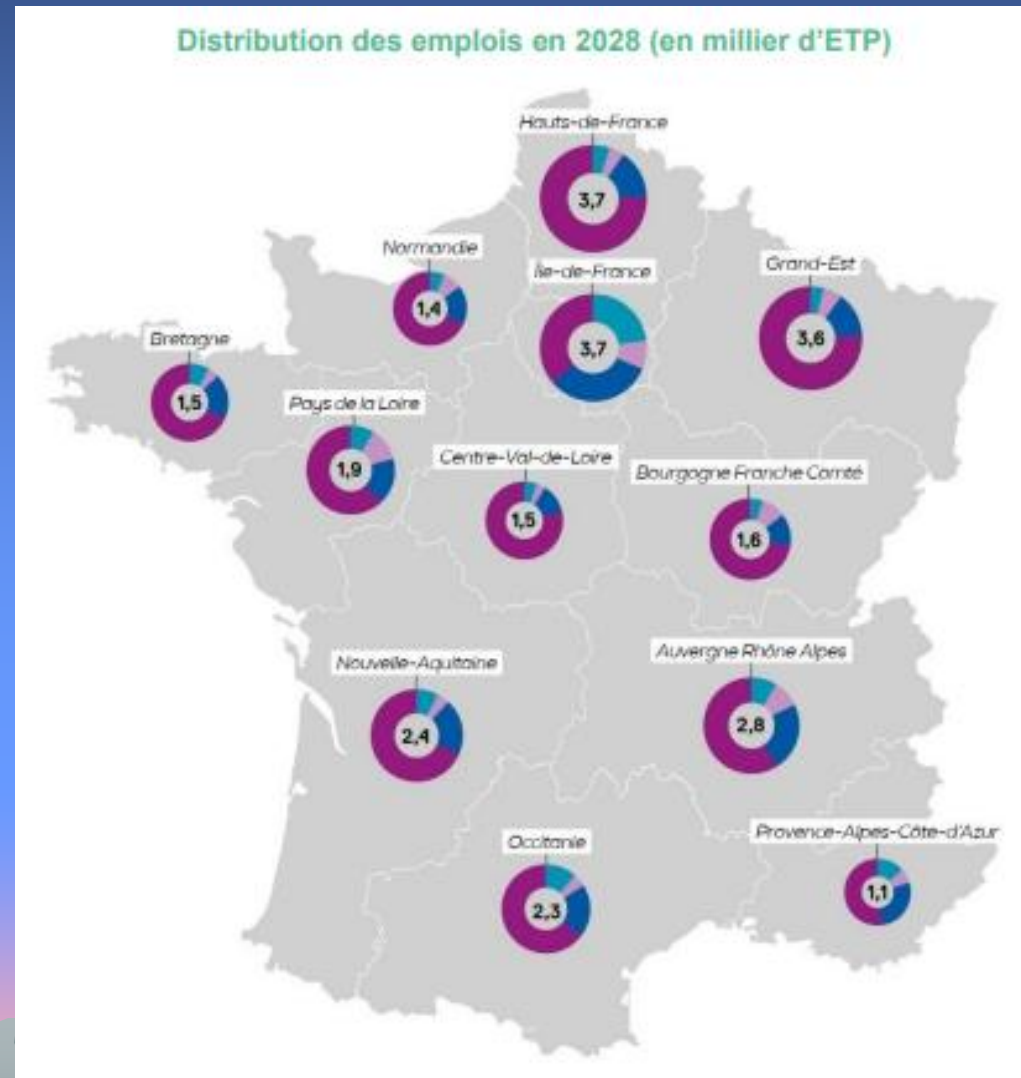
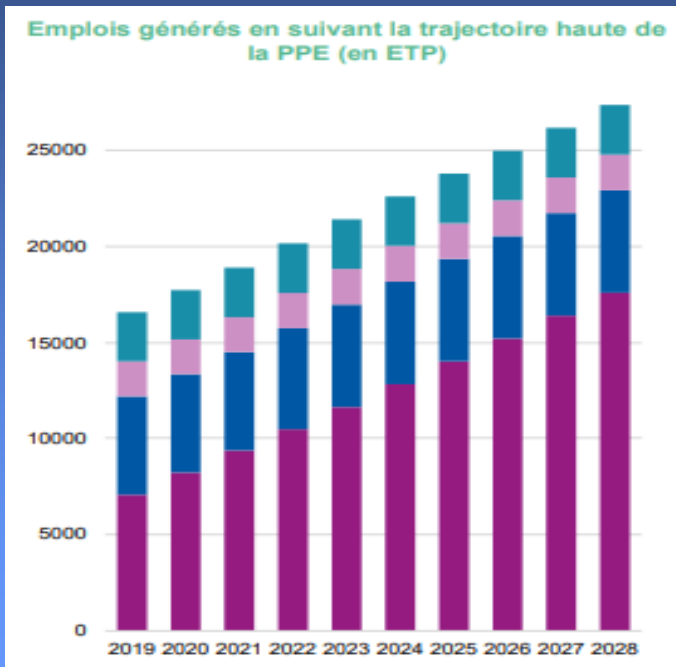


2028

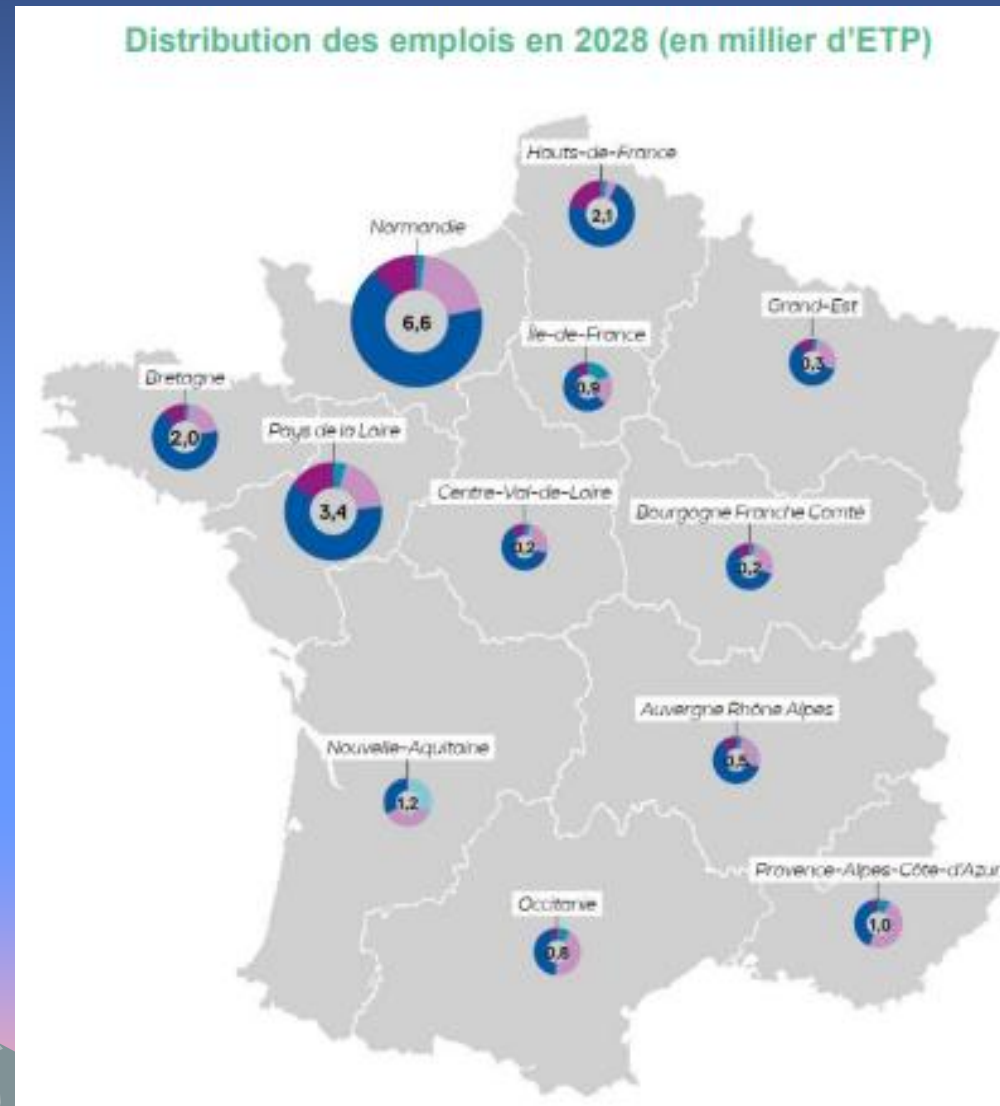
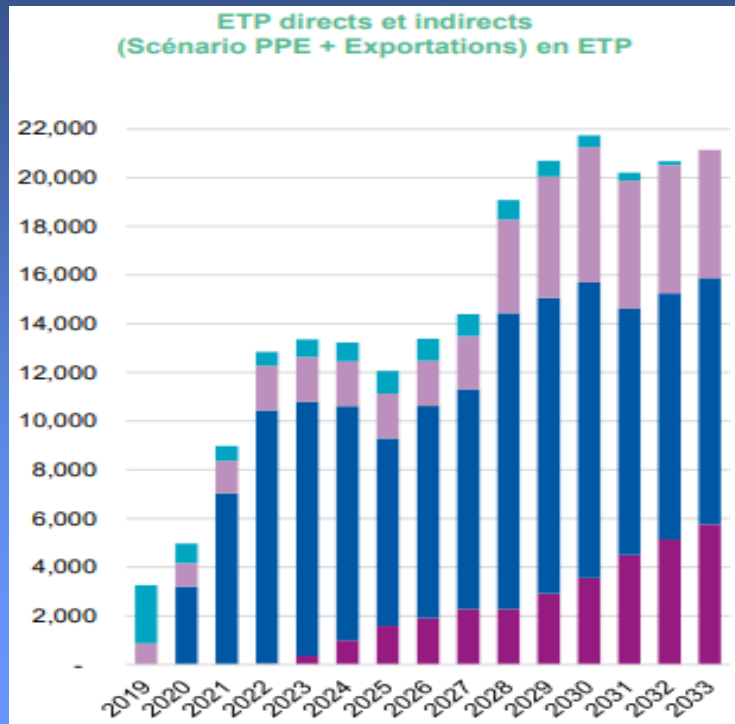


- Biocarburants
- PAC
- Géothermie
- Bois collectif tertiaire et industriel
- Bois domestique
- Méthanisation
- Solaire thermique
- Solaire PV
- Hydroélectricité
- Éolien terrestre
- Éolien en mer

Emplois générés dans EOLIEN TERRESTRE → 2028



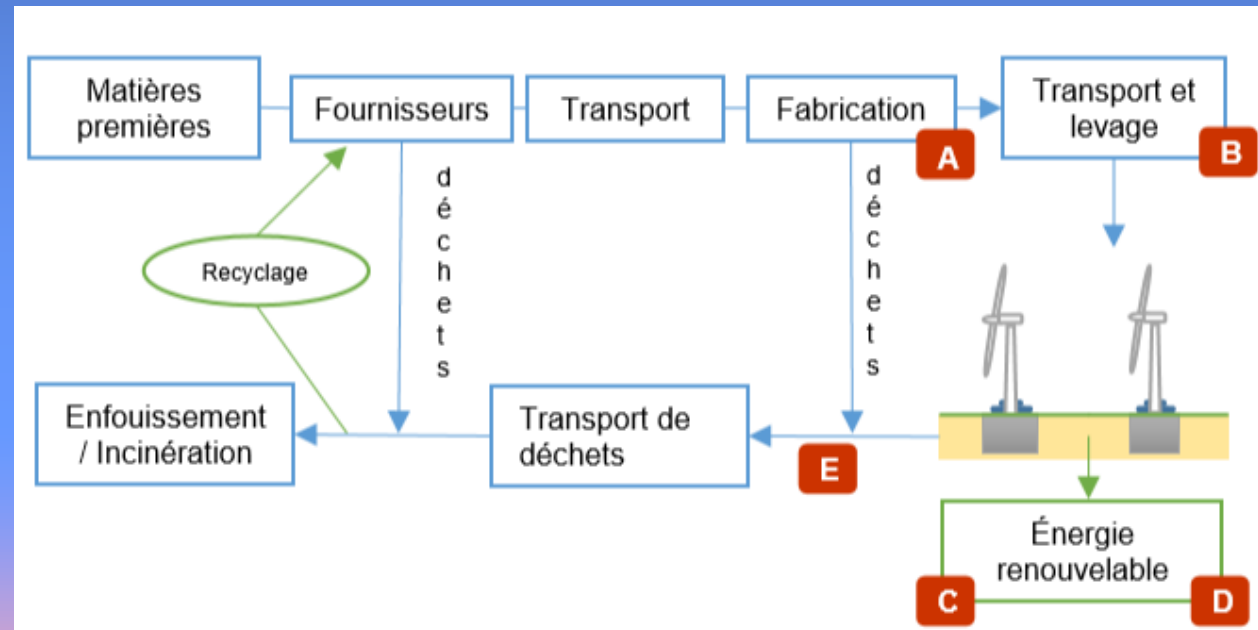
Emplois générés dans EOLIEN en MER → 2033



Impacts environnementaux de l'éolien français*

Différentes étapes du cycle de vie

- A** Fabrication des composants du système
- B** Installation du système éolien
- C** Utilisation
- D** Maintenance
- E** Désinstallation, traitement en fin de vie



* ADEME, *Impacts environnementaux de l'éolien français*, Données 2015, <https://www.ademe.fr/impacts-environnementaux-leolien-francais> consulté le 4/9/2019.

Impacts environnementaux de l'éolien français

L'Analyse de Cycle de Vie porte sur :

Les Impacts

- Acidification (sol, eau)
- Changement climatique (émission CO₂)
- Utilisation des sols

Les flux

- Consommation d'eau
- Demande cumulée en énergie non renouvelable
- Déchets produits

L'efficacité énergétique

- Retour énergétique
- Facteur de récolte

Méthodologie

L'étape d'évaluation des préjudices portés à l'environnement consiste à traduire les consommations de matières ou d'énergies puisées dans l'environnement et les rejets (appelés flux élémentaires) en impacts environnementaux potentiels. Ces indicateurs permettent de montrer l'impact du sujet étudié sur les différents milieux naturels (air, sol, milieux maritimes).

D'autres indicateurs sont également utilisés : ce sont les indicateurs de flux. Ils permettent de quantifier les quantités de ressources ou d'énergie consommées, ou de déchets générés.

Catégories d'impact

Acidification



L'acidification est une augmentation de l'acidité d'un sol ou d'un cours d'eau à cause des activités humaines, par le biais de pluies acides par exemple.

Changement climatique (émission de CO₂)



Les gaz à effet de serre (GES) sont les gaz qui ont la capacité d'absorber les radiations infrarouges provenant de la Terre, d'augmenter l'effet de serre et d'accroître le réchauffement de la température à la surface de la Terre.

Les émissions de GES sont données en équivalence CO₂ (équivalence en pouvoir de réchauffement global).

Utilisation des sols



Cette catégorie d'impact traite des différentes conséquences de l'utilisation et de la transformation du territoire par l'homme. Les surfaces artificialisées ou imperméabilisées sont considérées temporairement non disponibles pour remplir d'autres fonctions écosystémiques. Pour exprimer un indicateur, ces pertes sont ramenées à un équivalent de diminution de la matière organique dans le sol.

Efficacité énergétique

Retour énergétique

Le retour énergétique permet d'obtenir le taux de rendement énergétique, c'est-à-dire en combien de temps la turbine produit la quantité d'énergie qu'elle a consommée au cours de son cycle de vie.

Expression du retour énergétique :

$DCE / \text{Energie produite en moyenne en un mois}$

Indicateurs de flux

Consommation d'eau



Cette catégorie est liée à la raréfaction de l'eau. L'indicateur caractérise la consommation globale d'eau ainsi que sa baisse de fonctionnalité pour des utilisateurs humains.

Demande cumulée en énergie non renouvelable (DCE non renouvelable)



Cet indicateur englobe toutes les sources d'énergie issues de ressources limitées disponibles sur la planète et épuisables à l'échelle humaine. Les ressources énergétiques non renouvelables que nous utilisons et qui ne seront pas remplacées dans un délai raisonnable sont donc considérées comme "épuisables", c'est-à-dire non disponibles pour les générations futures.

Indicateur de déchets



Les flux de déchets sont divisés en trois catégories qui ont été réunis en un seul indicateur ici. Les déchets en vrac (*bulk waste* en anglais), les déchets dangereux (*hazardous waste*) et les déchets radioactifs (*radioactive waste*).

Facteur de récolte

Le facteur de récolte permet de connaître le nombre de fois que l'énergie est amortie, c'est-à-dire le nombre de fois que la turbine produit la quantité d'énergie qu'elle a consommée au cours de son cycle de vie.

Expression du facteur de récolte :

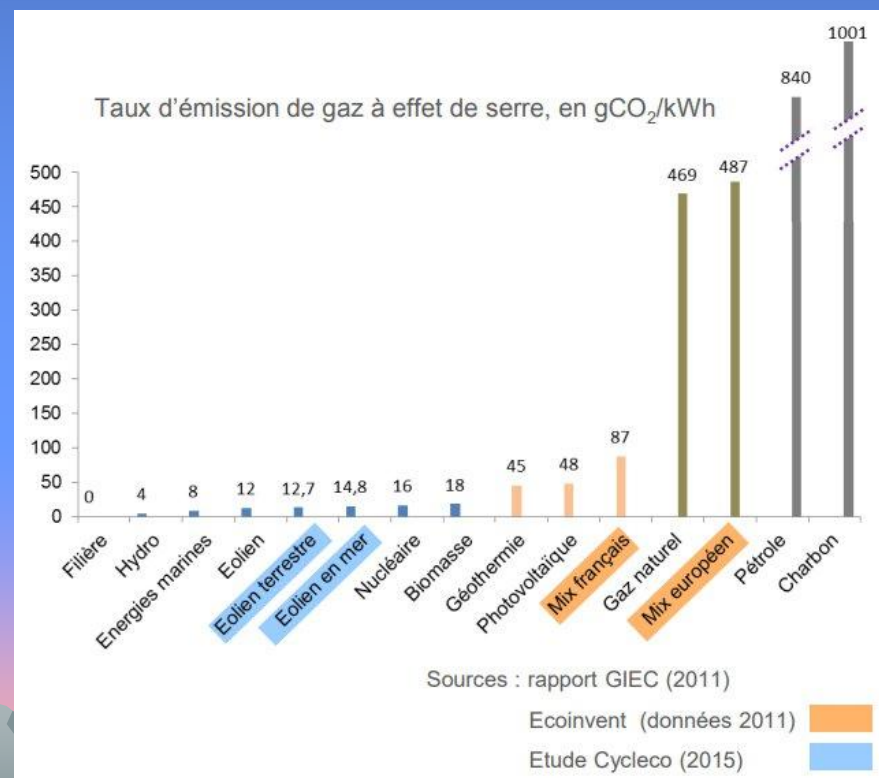
$\text{Energie totale produite} / DCE$

Impacts environnementaux de l'énergie éolienne française

Table 8
Lifecycle estimates for electricity generators^a

Technology	Capacity/configuration/fuel	Estimate (gCO ₂ e/kWh)
Wind	2.5 MW, offshore	9
Hydroelectric	3.1 MW, reservoir	10
Wind	1.5 MW, onshore	10
Biogas	Anaerobic digestion	11
Hydroelectric	300 kW, run-of-river	13
Solar thermal	80 MW, parabolic trough	13
Biomass	Forest wood Co-combustion with hard coal	14
Biomass	Forest wood steam turbine	22
Biomass	Short rotation forestry Co-combustion with hard coal	23
Biomass	FOREST WOOD reciprocating engine	27
Biomass	Waste wood steam turbine	31
Solar PV	Polycrystalline silicone	32
Biomass	Short rotation forestry steam turbine	35
Geothermal	80 MW, hot dry rock	38
Biomass	Short rotation forestry reciprocating engine	41
Nuclear	Various reactor types	66
Natural gas	Various combined cycle turbines	443
Fuel cell	Hydrogen from gas reforming	664
Diesel	Various generator and turbine types	778
Heavy oil	Various generator and turbine types	778
Coal	Various generator types with scrubbing	960
Coal	Various generator types without scrubbing	1050

https://www.nirs.org/wp-content/uploads/climate/background/sovacool_nuclear_ghg.pdf



^a Wind, hydroelectric, biogas, solar thermal, biomass, and geothermal, estimates taken from Pehnt (2006). Diesel, heavy oil, coal with scrubbing, coal without scrubbing, natural gas, and fuel cell estimates taken and Gagnon et al. (2002). Solar PV estimates taken from Pthenakis et al. (2008). Nuclear is taken from this study. Estimates have been rounded to the nearest whole number.

Impacts environnementaux de l'éolien français

Efficiace énergétique

Retour énergétique

Le retour énergétique permet d'obtenir le taux de rendement énergétique, c'est-à-dire en combien de temps la turbine produit la quantité d'énergie qu'elle a consommée au cours de son cycle de vie.

Expression du retour énergétique :

DCE / Energie produite en moyenne en un mois

Facteur de récolte

Le facteur de récolte permet de connaître le nombre de fois que l'énergie est amortie, c'est-à-dire le nombre de fois que la turbine produit la quantité d'énergie qu'elle a consommée au cours de son cycle de vie.

Expression du facteur de récolte :

Energie totale produite / DCE

Eolien	Retour énergétique	Facteur de récolte
Terrestre	12 mois	19
En mer	14 mois	17

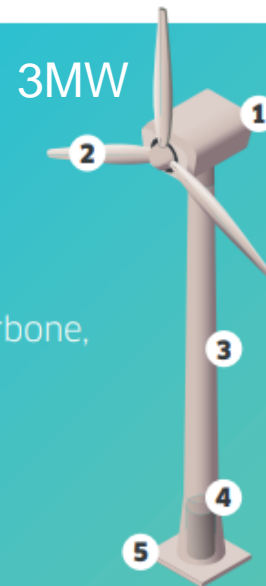
Démantèlement et recyclage d'un parc éolien

<https://www.engie-green.fr/wp-content/uploads/2020/12/fiche-demantelement-bd3.pdf>

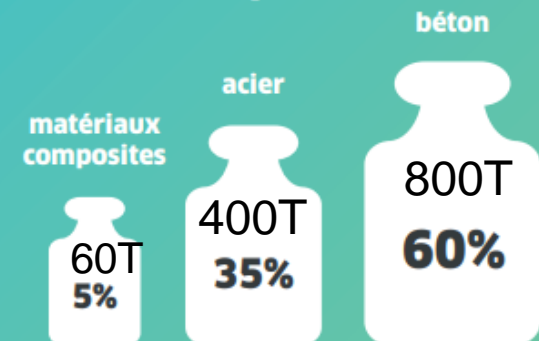
- La **durée de vie** d'un parc éolien est d'environ **20 à 25 ans**.
- Les **1ers parcs éoliens** arrivés en **fin de vie** en France ont été **démantelés en 2017**
- En France, on estime à **1500** le nombre de **turbines** à démonter dans les cinq ans à venir.

De quoi une éolienne est-elle composée ?

- **Nacelle et moyeu (1)** : acier et composites de résine, de fibre de verre et carbone,
- **Pales (2)** : composites de résine, de fibre de verre et carbone,
- **Mât (3)** : béton et acier,
- **Transformateur et installations de distribution (4)** : déchets électroniques et électriques,
- **Fondations (5)** : béton et acier.



Pourcentages en poids



Démantèlement et recyclage d'un parc éolien

<https://www.engie-green.fr/wp-content/uploads/2020/12/fiche-demantelement-bd3.pdf>

Démantèlement encadré par la loi* et comprend :

- Le **démontage** des éoliennes, postes et câbles électriques,
- L'**excavation totale ou partielle des fondations** et le remplacement par des terres similaires au terrain d'origine,
- Le **décaissement** des aires de grutage et des chemins d'accès et le remplacement par des terres similaires,
- La **valorisation ou l'élimination** des déchets de démolition et de démontage dans des filières dûment agréées.



Mécanisme de garantie financière :

L'exploitant du parc éolien constitue les garanties financières d'un montant, **fixé par arrêté ministériel***,

- de **50 000 €** pour une éolienne d'une **puissance <= à 2 MW**.
- et **10 000 € par MW supplémentaire** (ex : pour une éolienne de 3 MW → 60 000 €)

Démantèlement et recyclage d'un parc éolien

<https://www.engie-green.fr/wp-content/uploads/2020/12/fiche-demantelement-bd3.pdf>

Aujourd'hui, selon l'ADEME, environ 90% d'une éolienne est recyclable

Le traitement et le recyclage des éoliennes est encadré par la loi *

- Les **métaux** (acier, cuivre, fonte, aluminium) sont entièrement recyclés,
- Les **matériaux composites (pales)** → filières spécialisées → **valorisation thermique et énergétique** → réemployés pour d'autres parcs éoliens → mobilier urbain (upcycling)
- Le **béton** est réutilisé sous forme de **granulats**, ou pour la fabrication de béton neuf.



Il n'est en aucun cas possible dans un pays de l'UE :

- **de mettre en décharge les pales des éoliennes,**
- **d'abandonner des éoliennes sur le territoire.**

Pour accéder au diaporama :

<http://gim.iut.univ-perp.fr/>

↳ Scolarité

↳ Cours en ligne

↳ Polytech MATERIAUX 5A

Merci de votre attention