



Cours de Sustainable Energy

Energies renouvelables en Belgique

Avril 2022

Dr. Ir. Raoul NIHART





Structure de la présentation

1. Présentation de Luminus
2. Les énergies renouvelables
 - Introduction
 - Description des filières
 - Mécanismes de soutien
3. La libéralisation du secteur
4. Analyse et conclusions



1. Présentation de Luminus

PRODUCTION d'ENERGIE

Un parc de production diversifié

THERMIQUE
1208 MW

NUCLÉAIRE
419 MW



259 éoliennes

ÉOLIENNE

658 MW



HYDRAULIQUE

67 MW

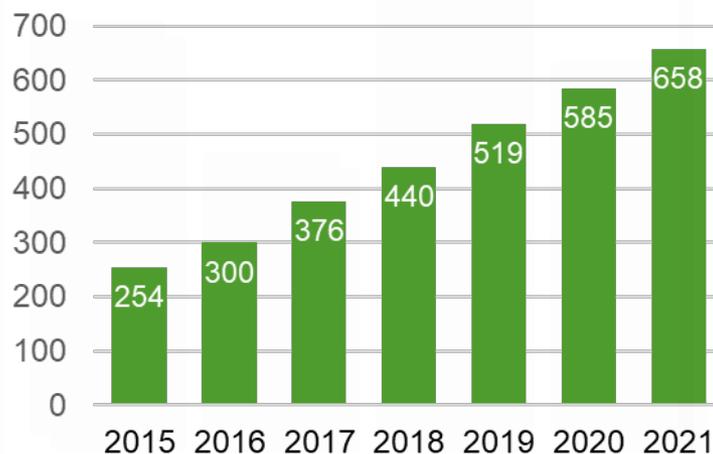
PRODUCTION d'ENERGIE



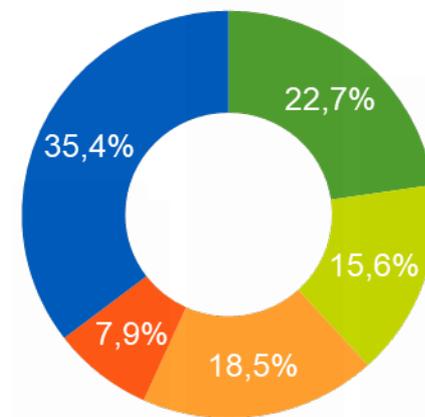
ZOOM :

Position de Luminus sur le marché de l'éolien onshore

Capacité éolienne installée (MW)



Part de marché en MW installés
fin 2021



■ Luminus ■ Aspiravi ■ Engie
■ Eneco ■ Andere

Positionnement géographique des parcs éoliens de Luminus



SERVICES
ÉNERGÉTIQUES

Le Groupe Luminus

Un acteur du service énergétique en Belgique



Quelques projets d'envergure



NMC

le plus grand parc
photovoltaïque de
la Belgique
germanophone



FOYER

ANDERLECHTOIS

réduction de 20% de
la consommation
d'énergie dans 3.000
logements sociaux



LUWA

rénovation de
l'éclairage
sur 2 300 km de
routes wallonnes



2. Les énergies renouvelables

- Introduction**
- Description des filières
- Mécanismes de soutien

Qu'est-ce que l'énergie renouvelable ?

« Une source d'énergie est dite renouvelable si le fait de l'utiliser ne limite pas son utilisation future »

- Notion « d'énergie de stock »

- Notion « d'énergie de flux »

Pourquoi les SER ?

(SER = Sources d'Énergie Renouvelable)

→ Motivations environnementales:

- Limiter les émissions atmosphériques (effet de serre et qualité de l'air)
- Réduire le transport des combustibles et les risques associés
- Éviter la gestion des déchets (nucléaires et autres)

→ Motivations économiques:

- Réduire la consommation de combustibles primaires
- Réduire les importations d'énergies primaires → limiter la dépendance énergétique de l'union européenne

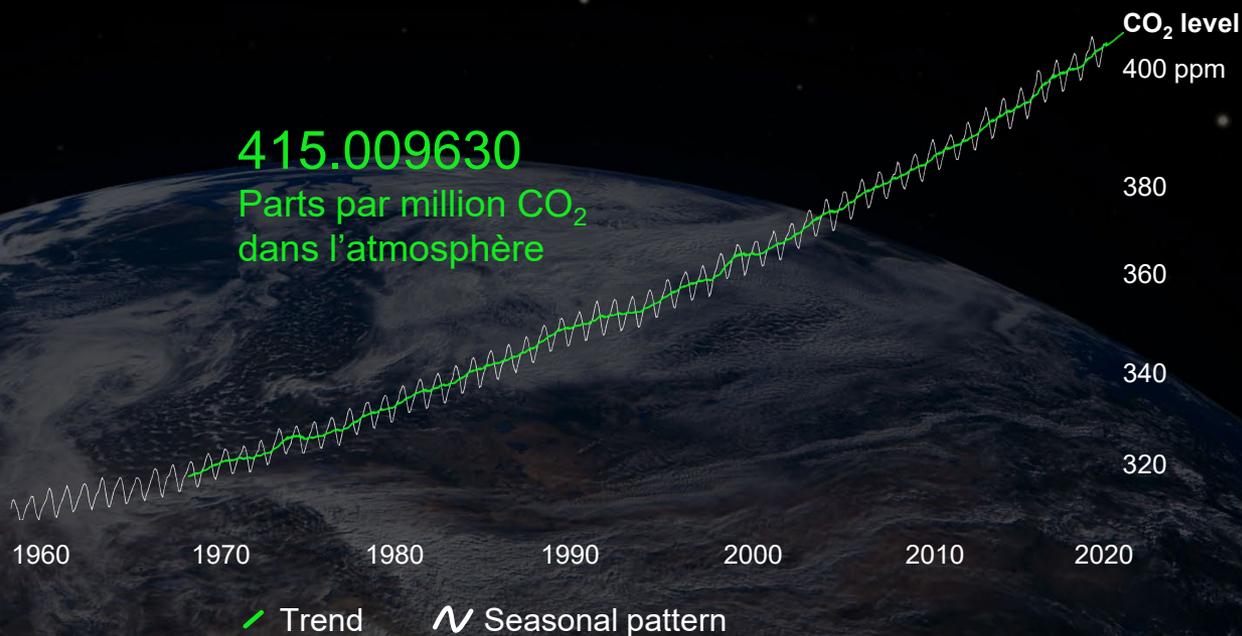
L'urgence climatique représente un défi majeur

**Bloomberg
Green**

L'horloge carbone

Les scientifiques mesurent l'augmentation du niveau de dioxyde de carbone dans l'atmosphère depuis les années 1950. L'horloge Bloomberg du carbone est une estimation en temps réel du niveau mensuel de CO₂

415.009630
Parts par million CO₂
dans l'atmosphère



Source: NOAA

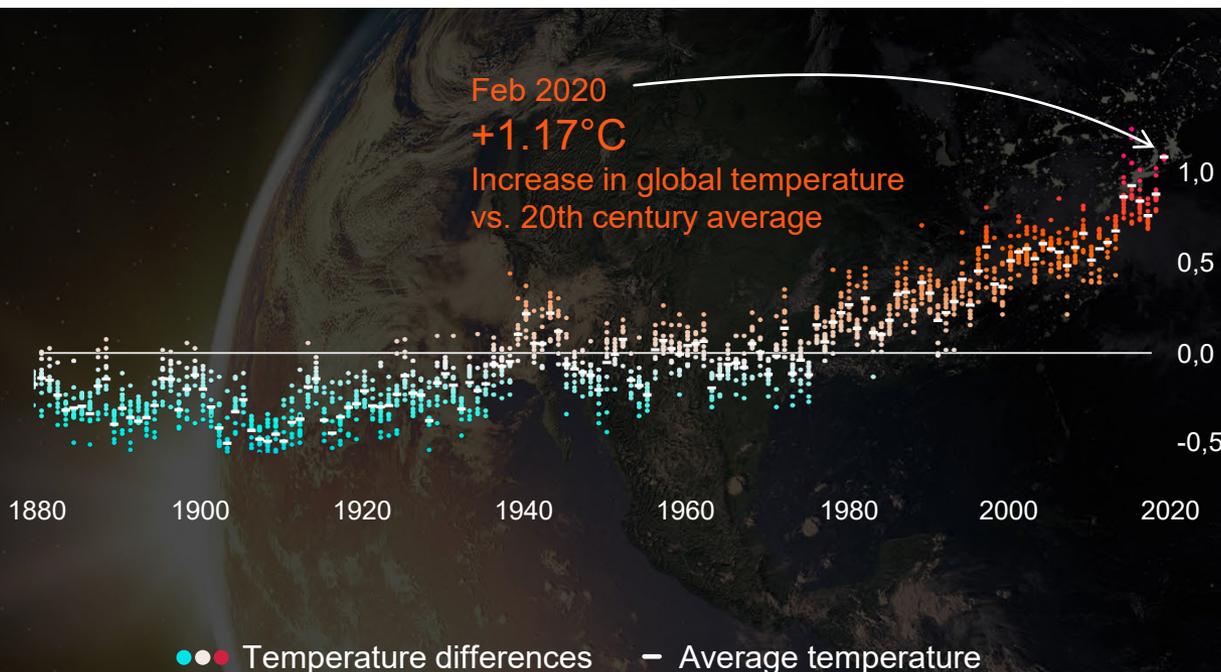
L'urgence climatique représente un défi majeur

**Bloomberg
Green**

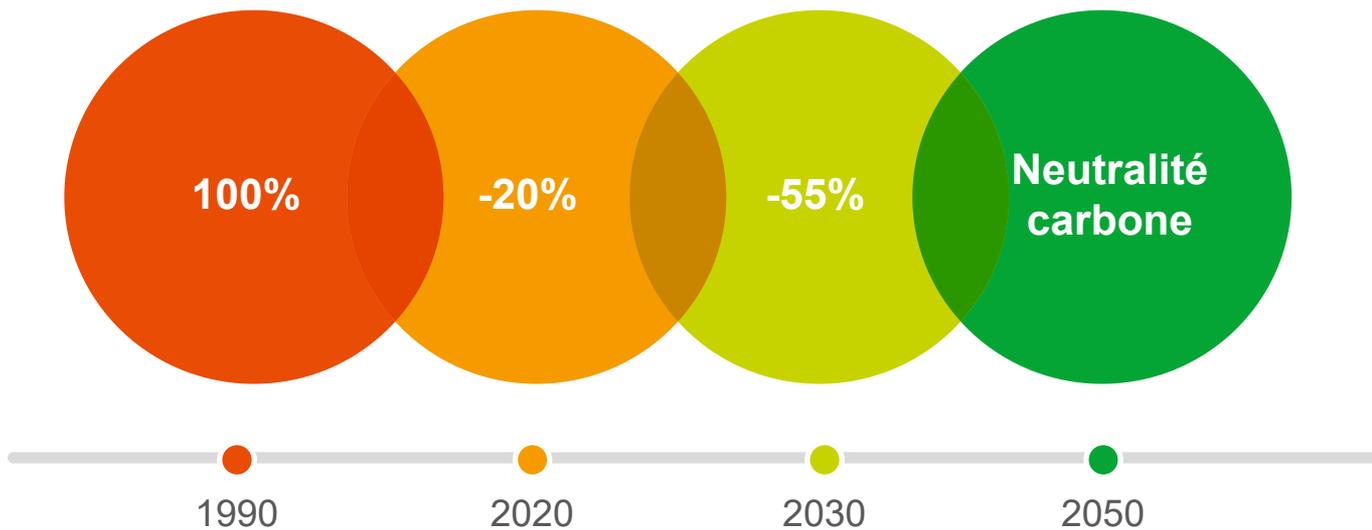
Global Temperature Change

L'année dernière a été la deuxième plus chaude jamais enregistrée. Les cinq années les plus chaudes ont toutes eu lieu depuis 2015.

Source: NOAA

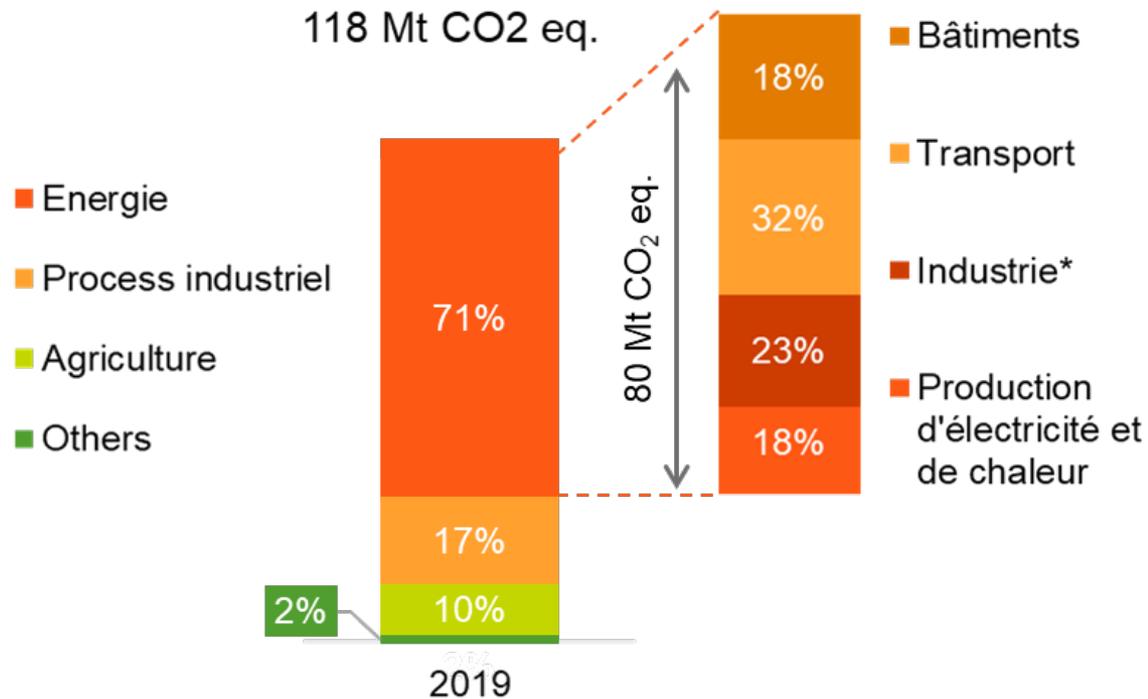


L'objectif européen : Tendre vers la neutralité carbone en 2050



Objectifs européens

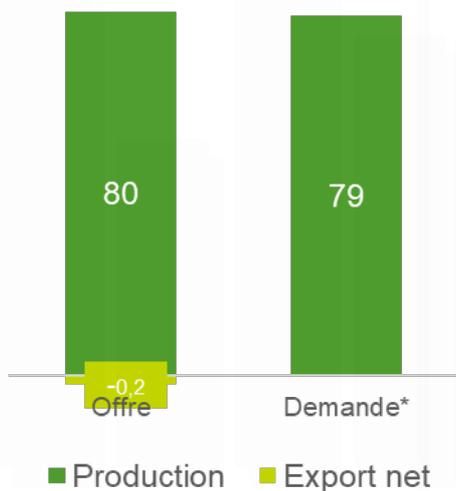
Origine des gaz à effet de serre (GES) en Belgique



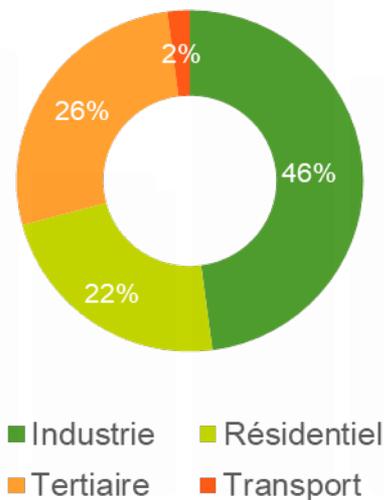
87% des émissions de combustibles fossiles se produisent **en dehors du secteur de la production d'électricité**

Part des énergies renouvelables en Belgique

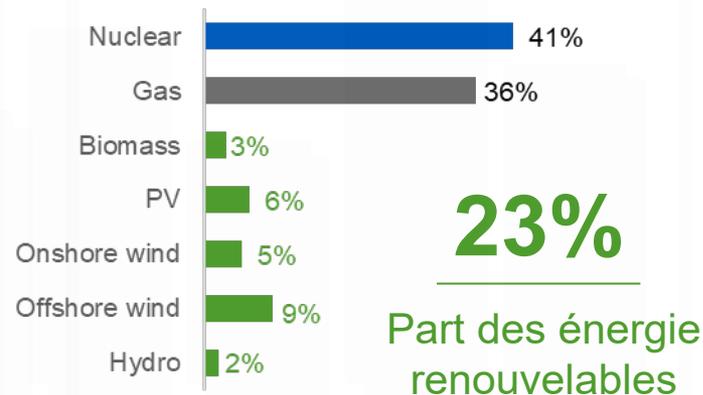
Production et demande d'électricité (en TWh)



Demande d'électricité



Mix de production



*Consommation finale + pertes réseaux

*Source: CREG, FEBEG, Synergrid

Electricité d'origine renouvelable: 4 filières



L'HYDROELECTRICITE



LES EOLIENNES

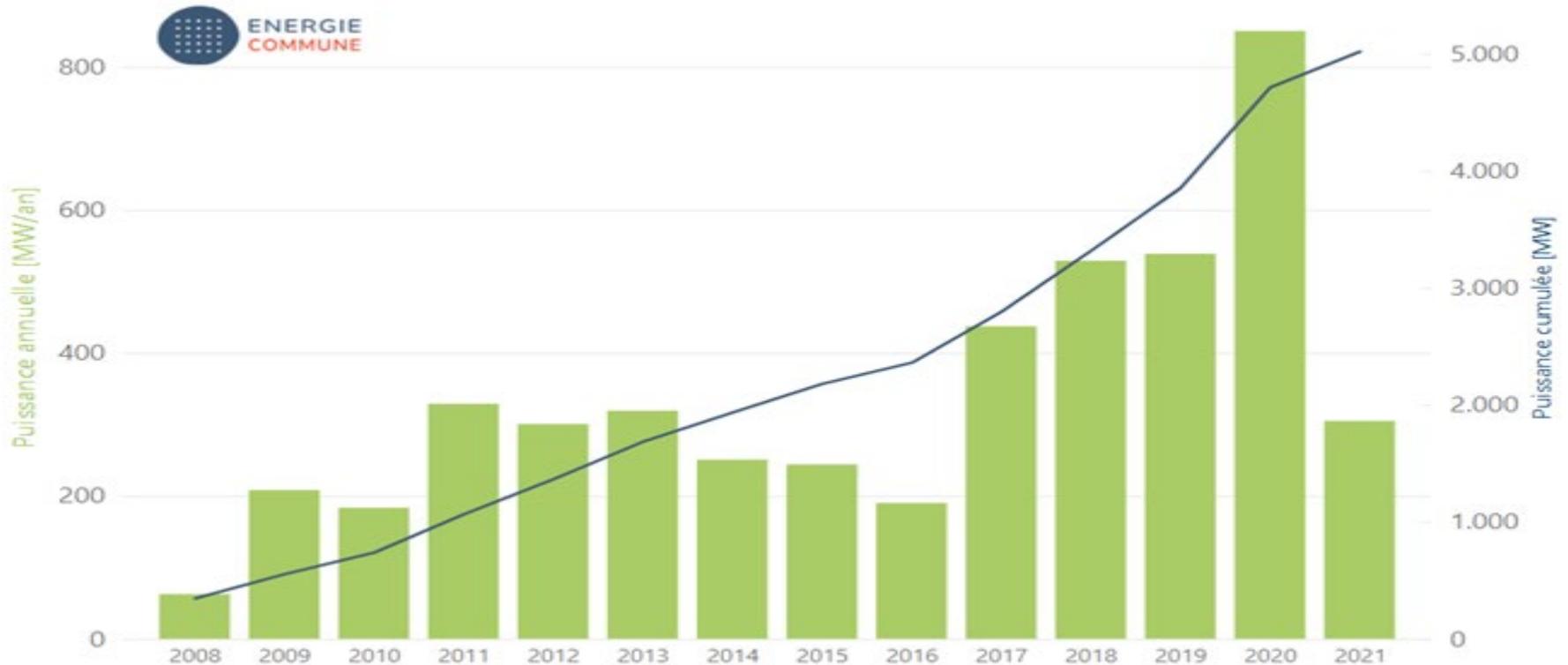


LE SOLAIRE

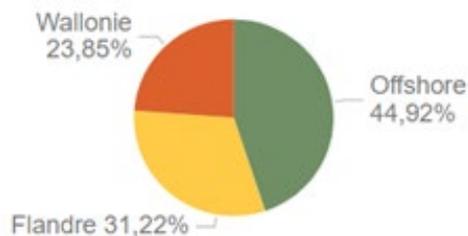


LA BIOMASSE

Evolution de la puissance installée en éoliennes en Belgique (MW)



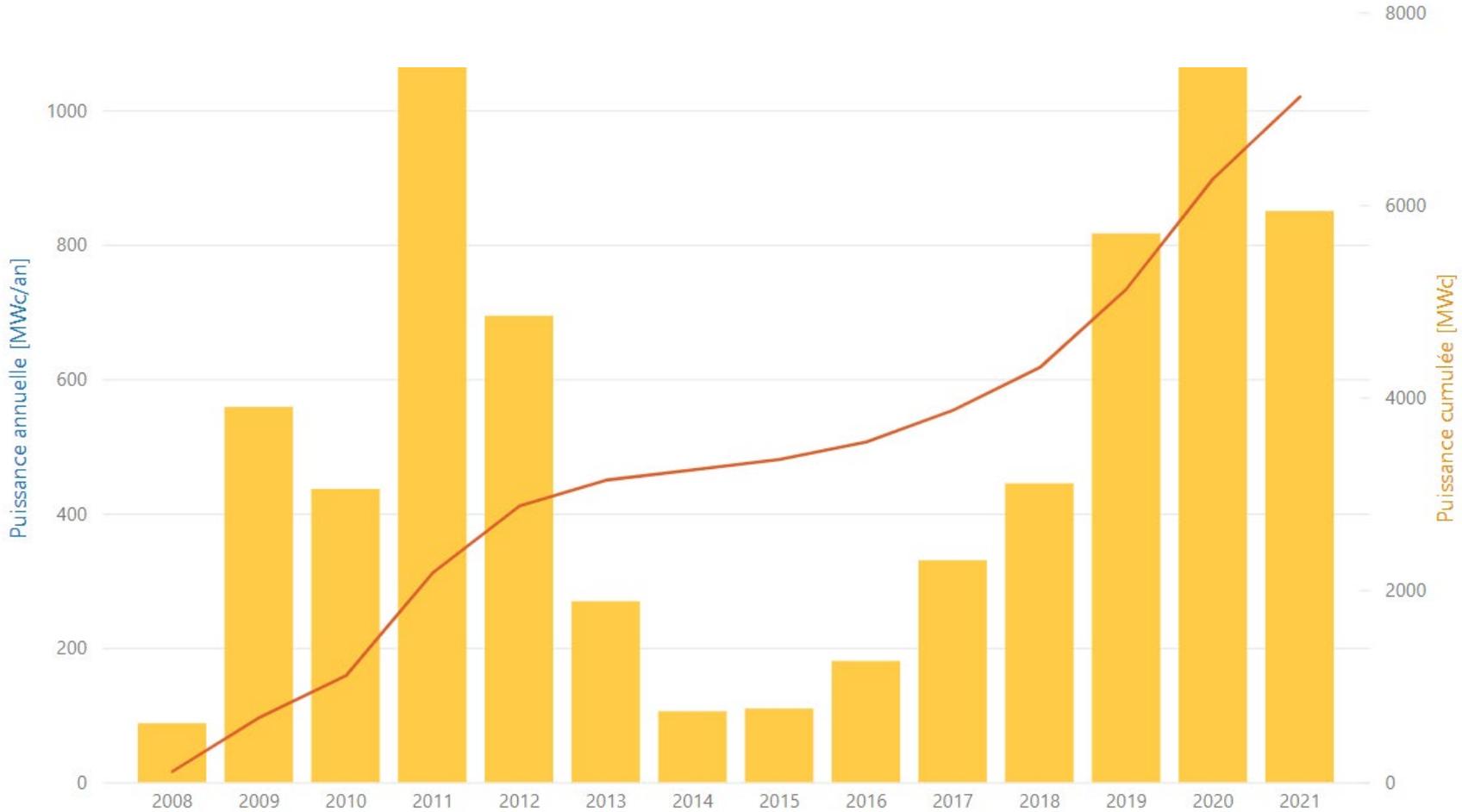
Répartition du parc par Région



Source:
<https://energiecommune.be/statistique/observatoire-eolien/>



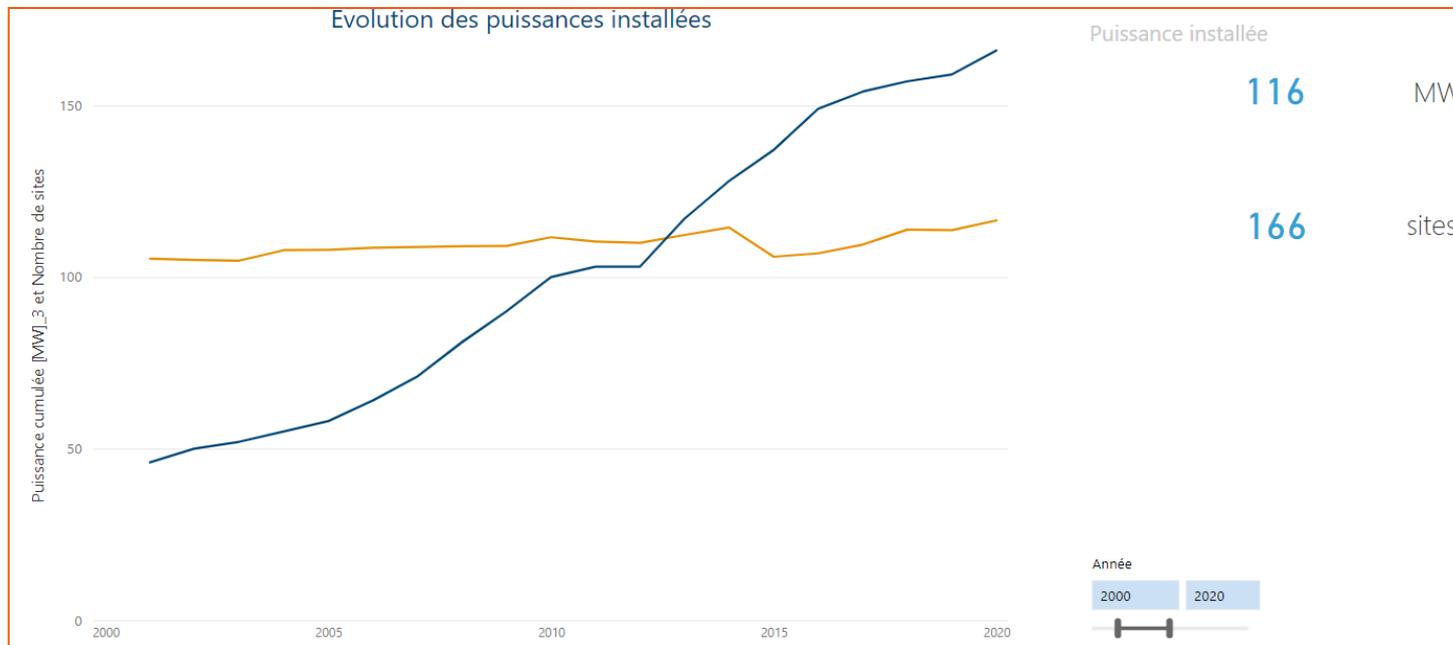
Evolution de la puissance installée en photovoltaïque en Belgique (MWc)



Evolution de la puissance installée en hydroélectricité en Belgique

◆ La Puissance installée en hydroélectricité est stable: 116 MWe

- L'hydroélectricité n'a pas attendu l'évolution politique moderne pour se développer
- Principaux sites : 6 unités sur la Meuse pour un total d'environ 70 MW, construits entre 1950 et 1988 !
- Peu de nouveaux projets de puissance → plus de potentiel



Evolution de la puissance installée en biomasse en Belgique

- ▶ En biomasse, pas de chiffre figé → une évolution de l'ordre de 100 à 900 MW en 10 ans.
 - Certains sites sont « bi-fuel » : mazout ou biofuel
 - De nombreux sites sont en cogénération (électricité et chaleur)
 - Les gros sites sont bi-combustibles (charbon ou gaz + biomasse bois)
 - Grande majorité des volumes importés (pellets de bois, biofuel)



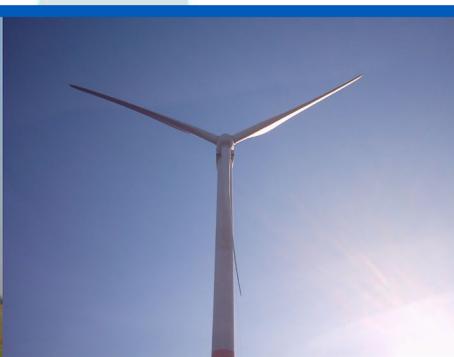
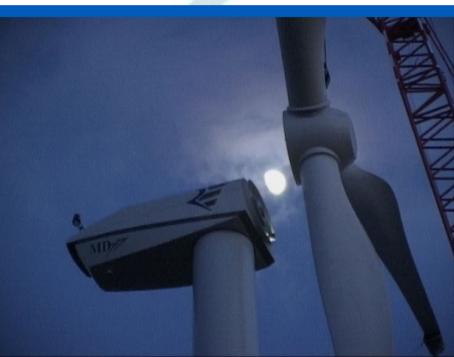
2. Les énergies renouvelables

- Evolution et objectif
- Description des filières**
- Mécanismes de soutien

Les éoliennes

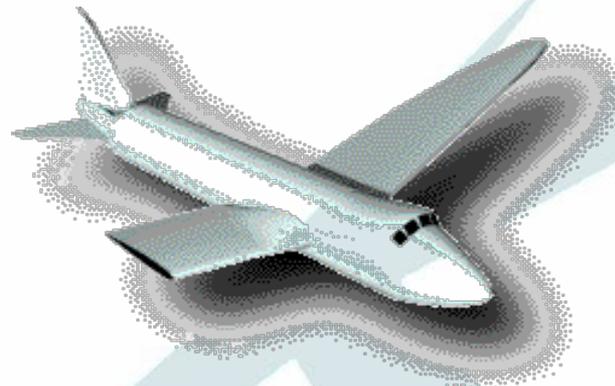
« Production d'électricité par conversion de l'énergie cinétique du vent ».

Filière principale : éolienne tripale à axe horizontal :



Machine tripale





© 1998 www.WINDPOWER.org



© 1998 www.WINDPOWER.dk



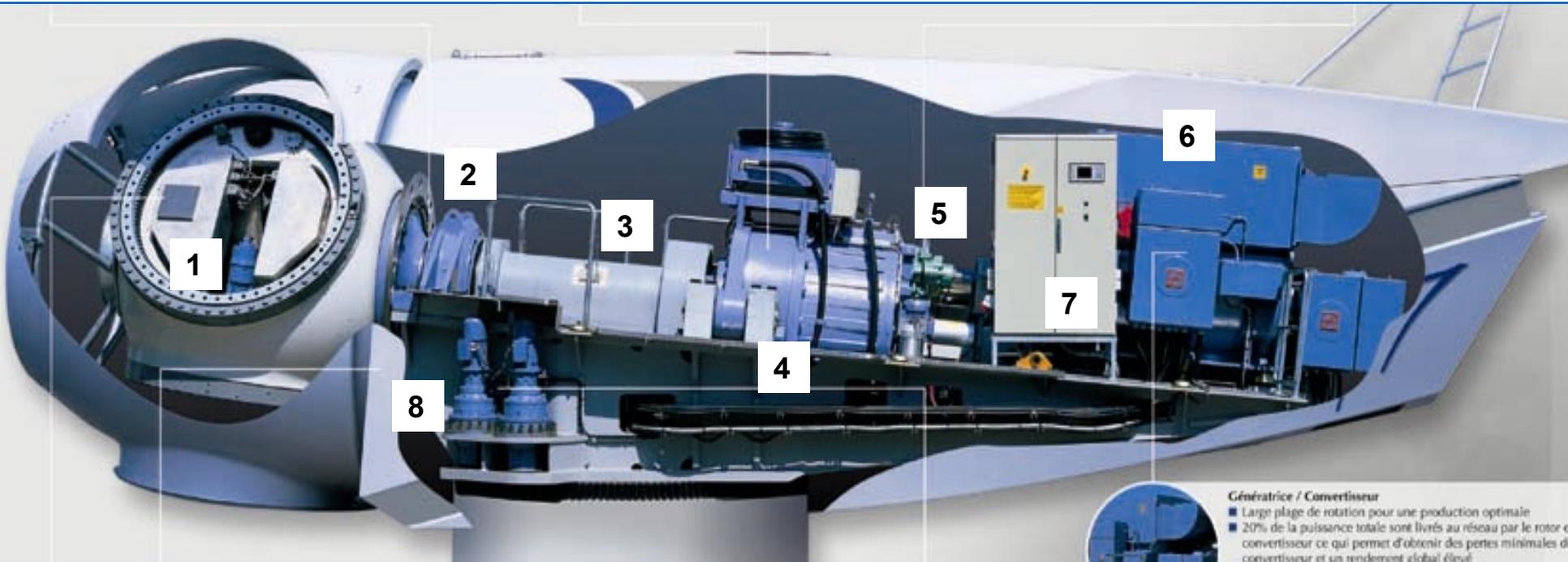
© 1998 www.WINDPOWER.dk

Types d'éoliennes ONSHORE

- ▶ Turbine éolienne tripale
- ▶ Puissance de la génératrice de 1,5 à 3,5 MWe
- ▶ Production annuelle par machine > 3 à 6 GWhe
- ▶ Hauteur de mât entre 80 et 120 m - Rayon du rotor entre 35 et 60 m
- ▶ Maturité technologique élevée
- ▶ Haute technologie à vitesse de rotation lente et variable



Principe de fonctionnement d'une éolienne avec multiplicateur (REPOWER - MD 77)



1. Calage variable des pales

2. Palier principal

3. Arbre lent

4. Multiplicateur

5. Frein à disque

6. Génératrice

7. Electronique de commande

8. Moteurs du Yaw

Cas des éoliennes de Wanze / Villers-Le-Bouillet (8 x 1,5 MW)

Parc initial
(2005)

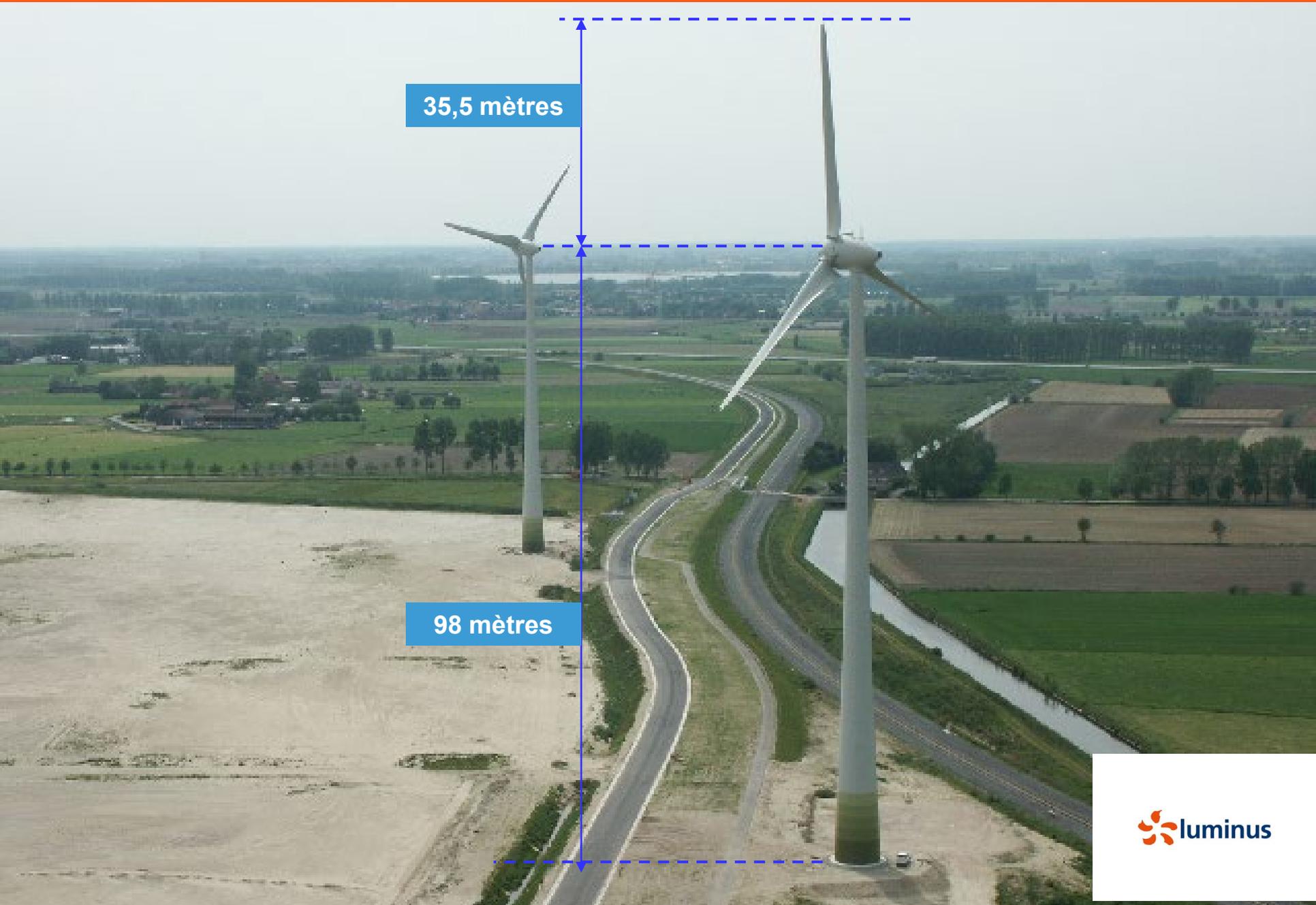
38,5 mètres

85 mètres

Principe de fonctionnement d'une éolienne à attaque directe (Enercon E-70)



Cas des éoliennes du port de Gand (11 x 2 MW)



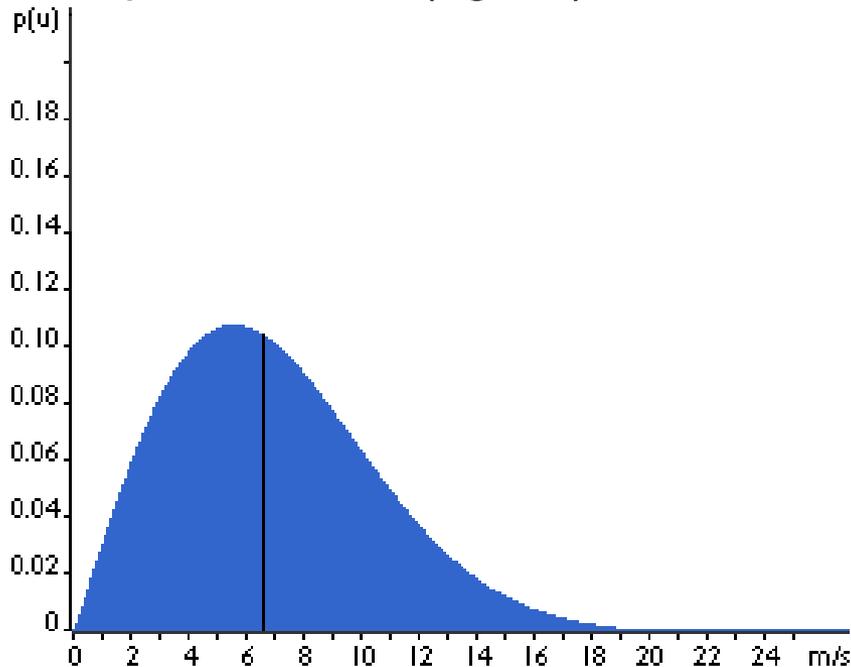
35,5 mètres

98 mètres

Le vent

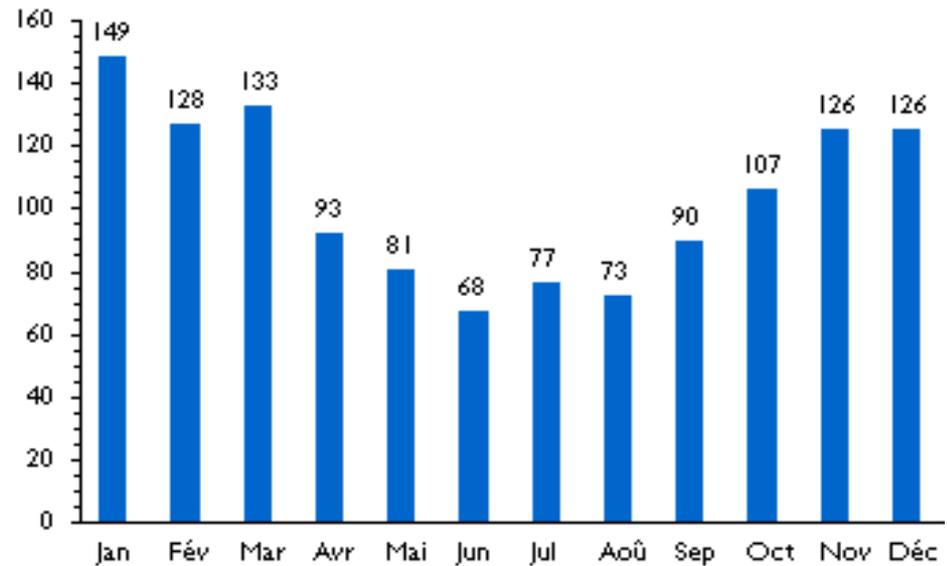
$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot v^3$$

- P = puissance contenue dans le vent (W)
- v = vitesse du vent (m/s)
- S = surface traversée (m²)
- ρ = densité (kg/m³)



© 1998 www.WINDPOWER.org

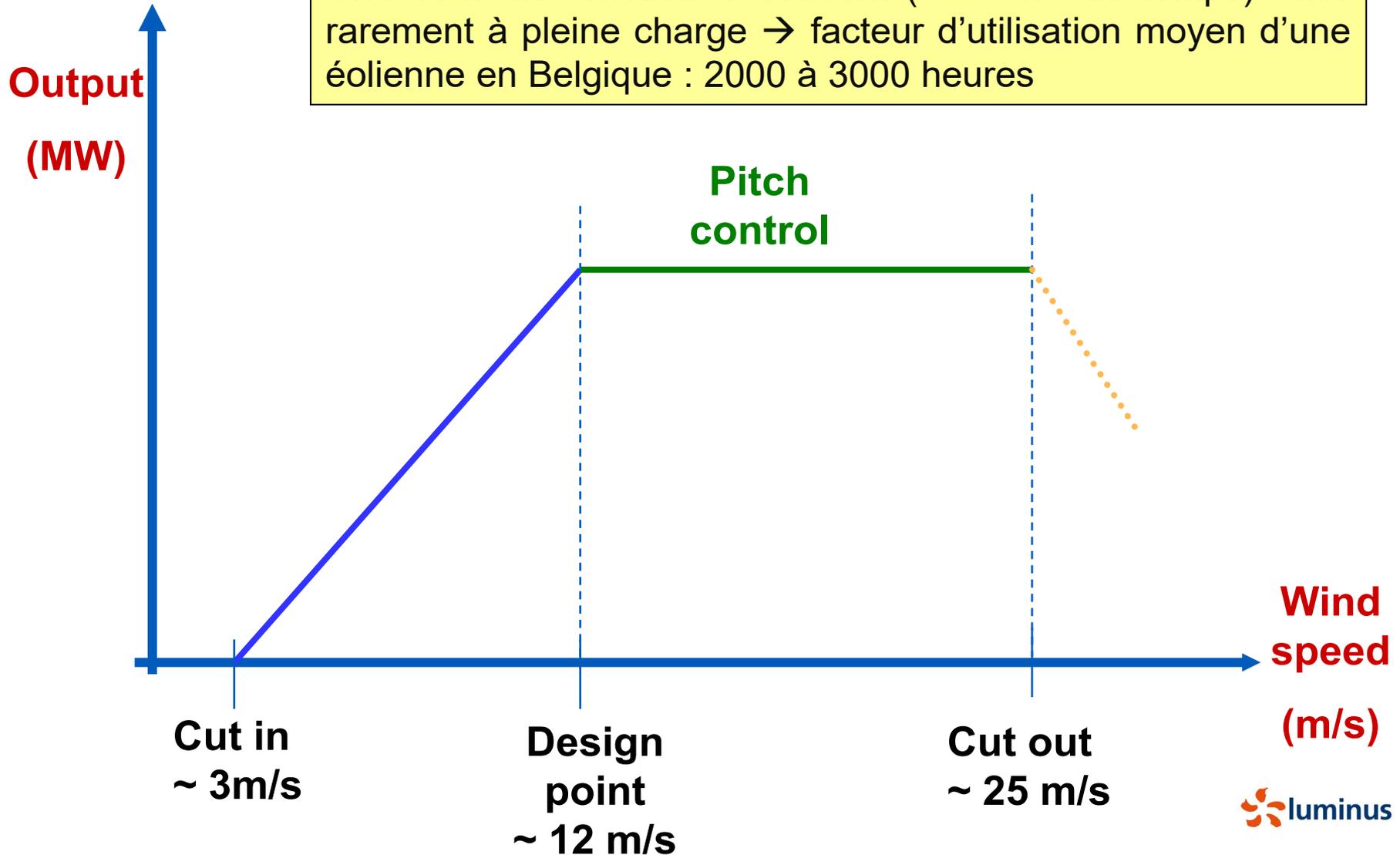
Indice d'énergie du vent, Danemark (moyenne = 100)



© 1998 www.WINDPOWER.org

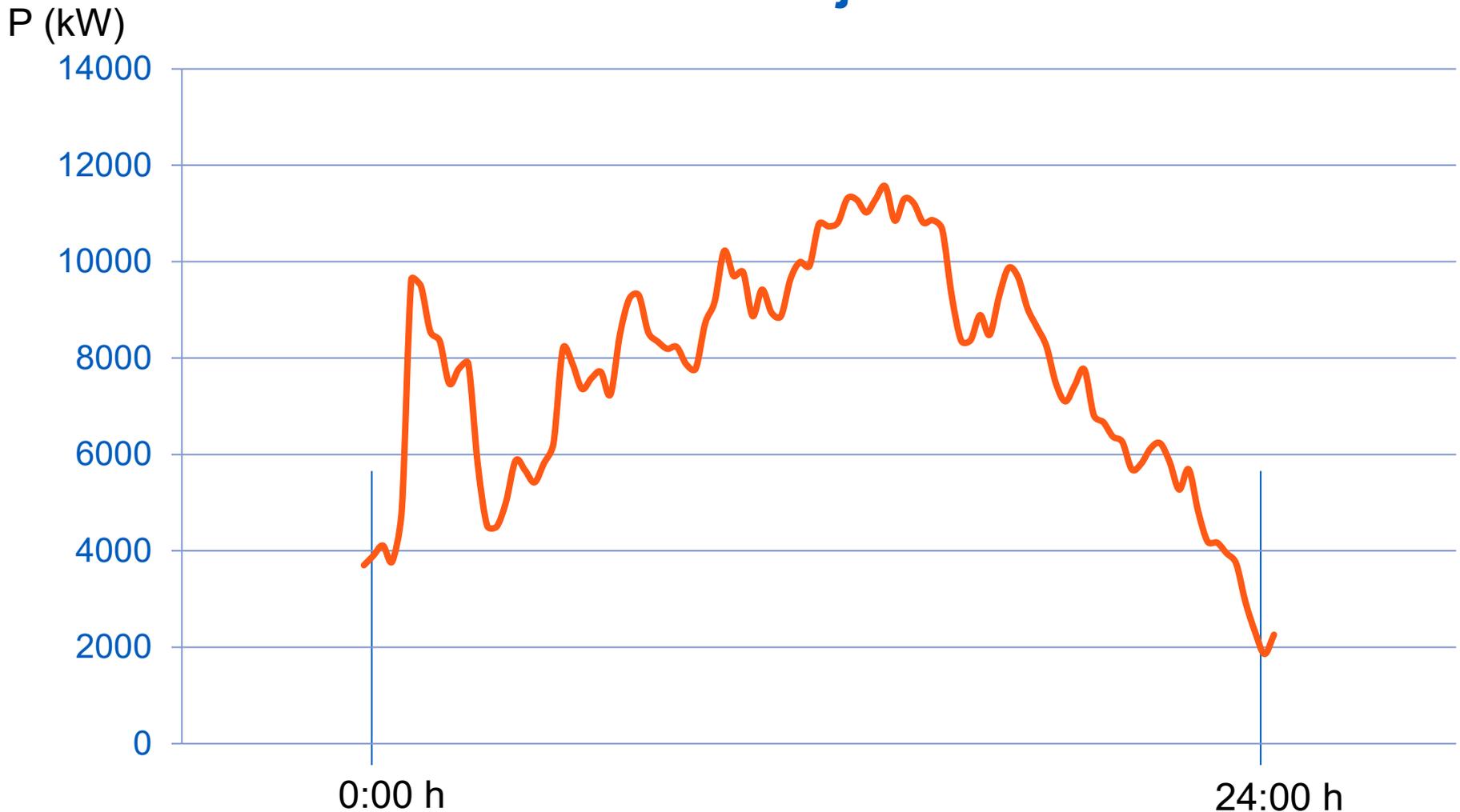
Courbe de puissance d'une éolienne

Une éolienne fonctionne souvent (~ 80 % du temps) mais rarement à pleine charge → facteur d'utilisation moyen d'une éolienne en Belgique : 2000 à 3000 heures

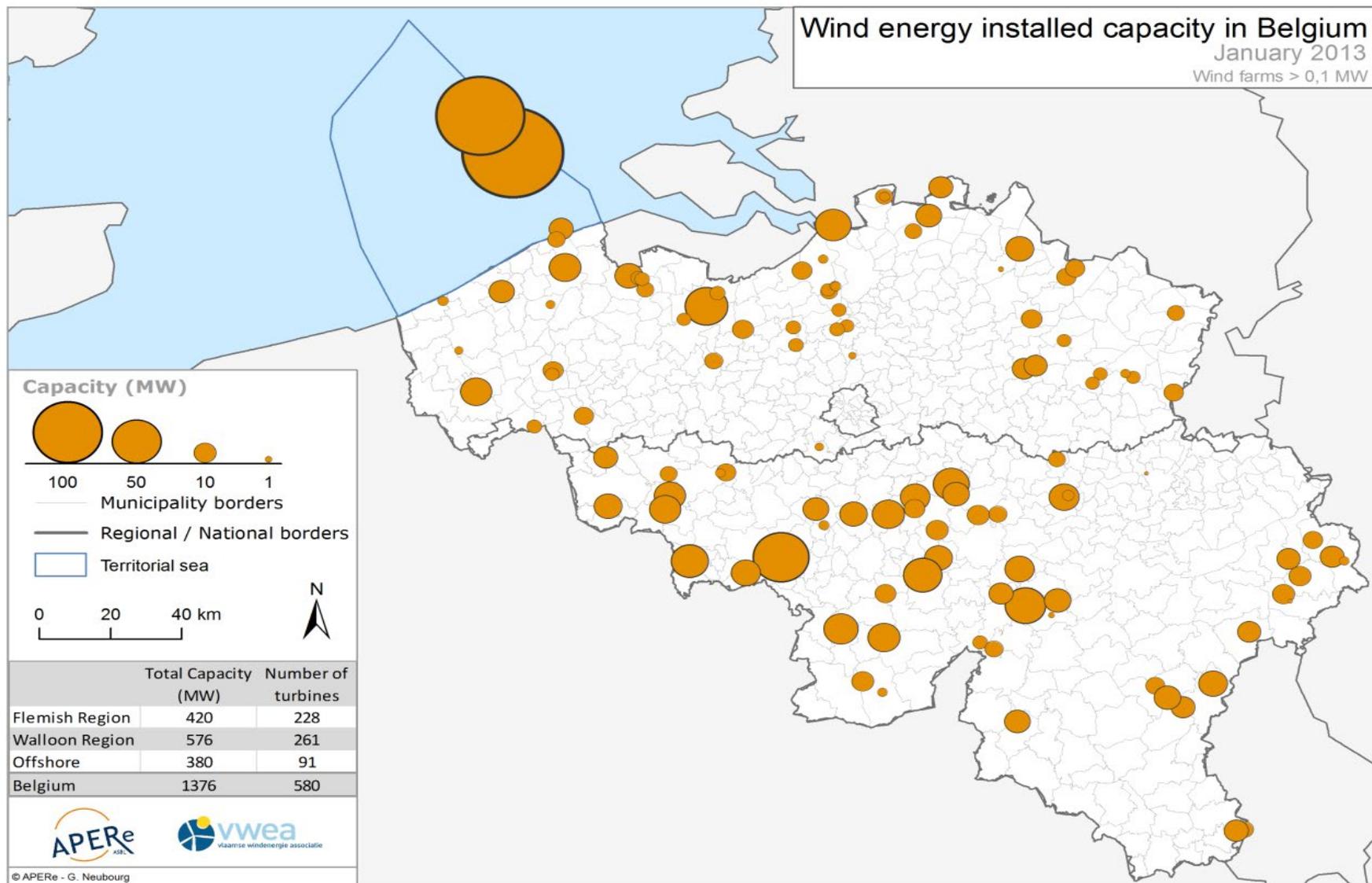


Intermittence de la production éolienne

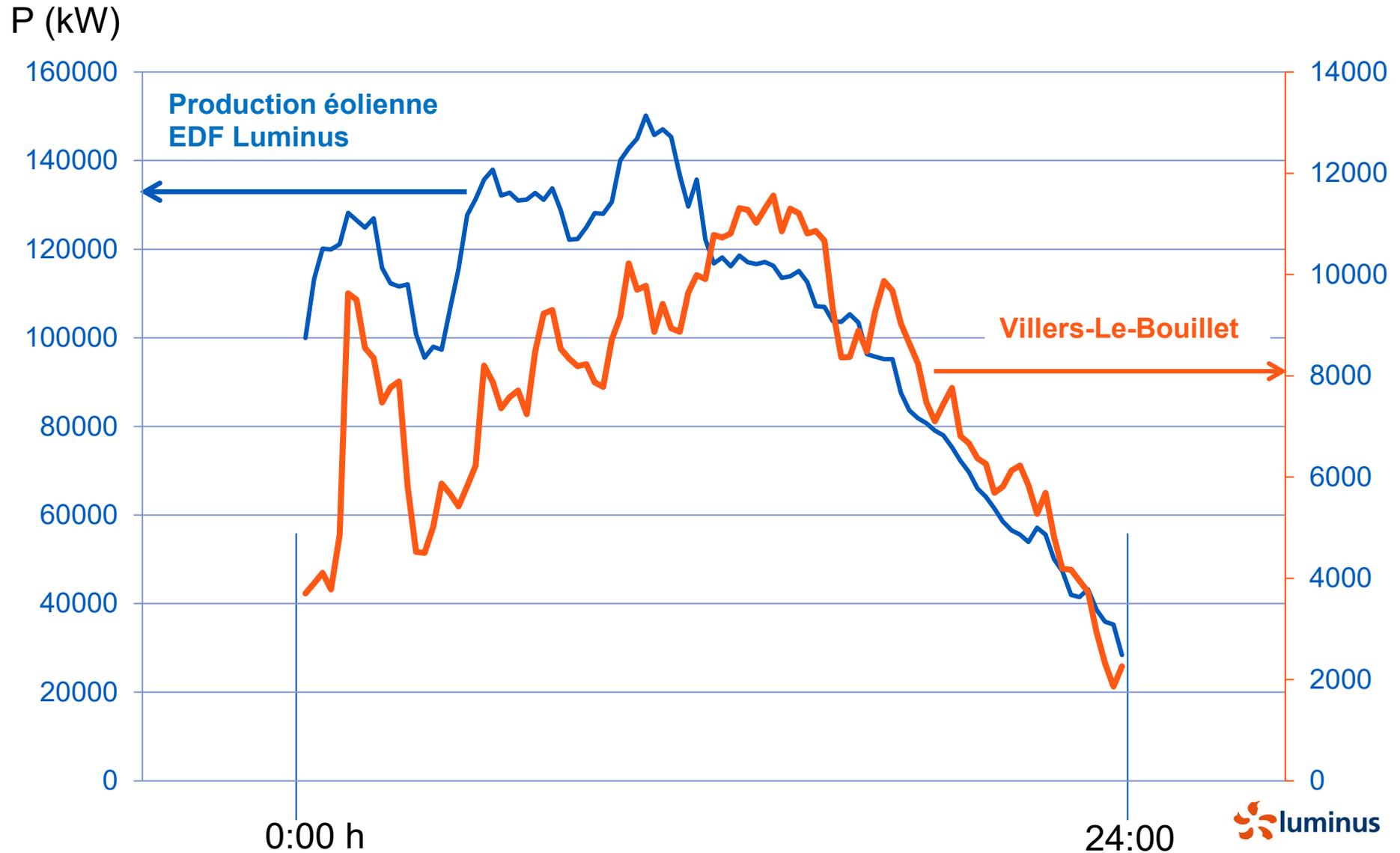
Parc de Villers-Le-Bouillet – journée du 5 mars 2013



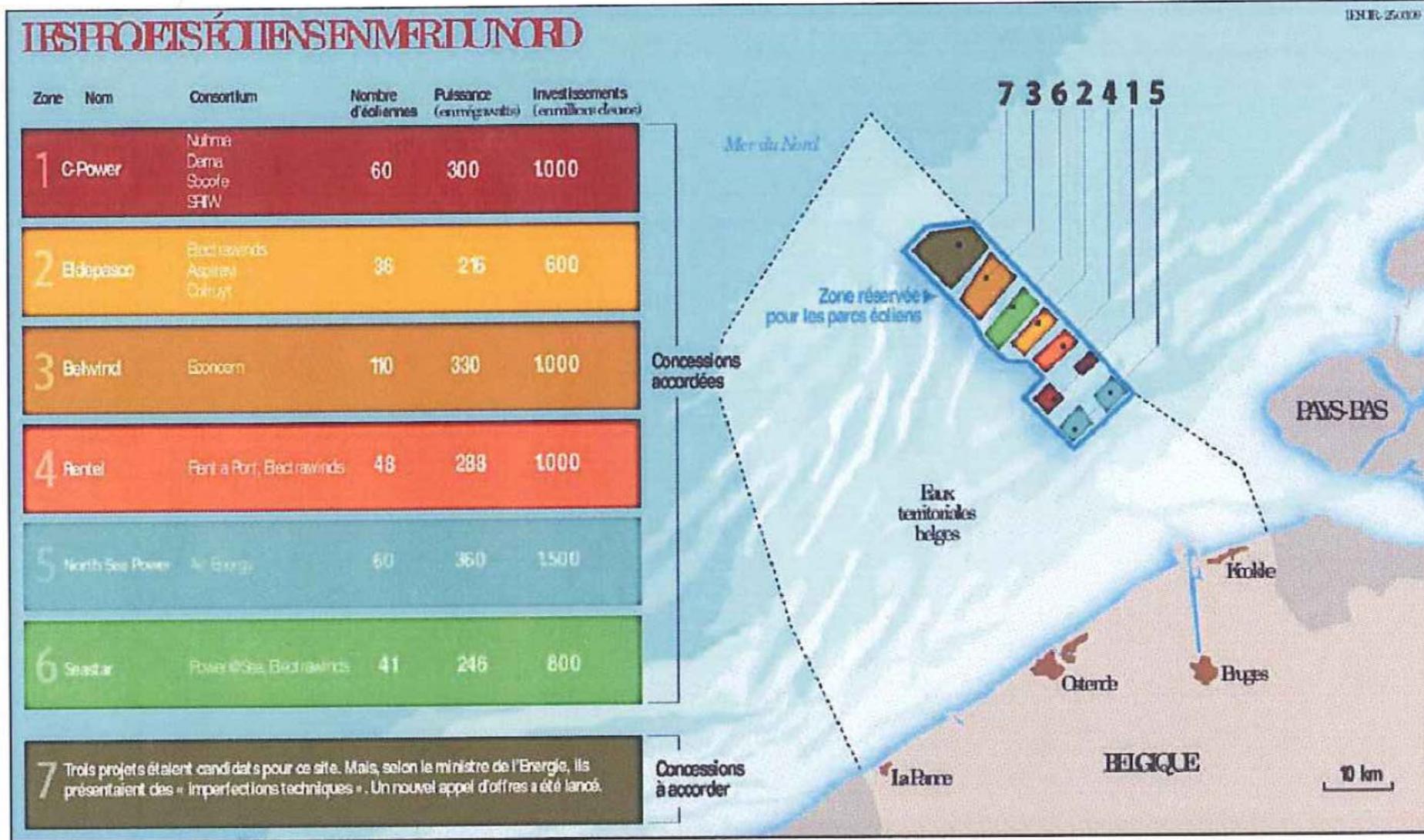
Distribution des parcs éoliens sur le territoire



Parc de Villers-Le-Bouillet + production complète EDF Luminus – journée du 5 mars 2013



Projets Off-shore



Source:



Le Soir, 25 mars 2010

Points forts et points faibles de la filière éolienne

Points forts :

- Maturité technologique
- Potentiel élevé
- Coûts relativement bas pour une filière renouvelable
- Energy payback time ~ 1 an

Points faibles :

- Contraintes liées à l'aménagement du territoire
- Acceptation du public pas toujours facile
- Caractère fluctuant et peu prévisible de la production → gestion d'équilibre entre consommation et production difficile
- Saturation du réseau électrique par endroit → problèmes de congestion dans le réseau

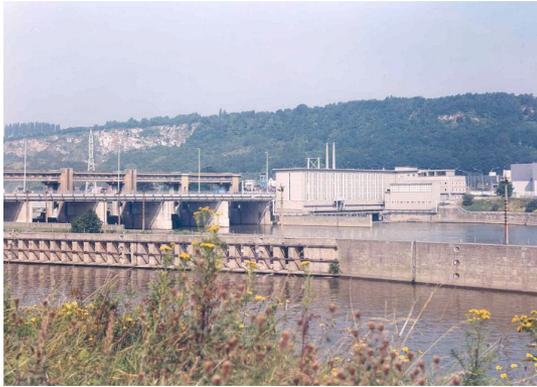
L'hydroélectricité

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

- P = puissance (W)
- Q = débit d'eau (m³/s)
- H = hauteur de chute (m)
- ρ = densité (kg/m³)
- g = accélération gravitationnelle : 9,81 m/s²
- η = rendement



Centrales hydrauliques de Luminus sur la Meuse



Ivoz-Ramet



Monsin



Ampsin-Neuville



Andenne

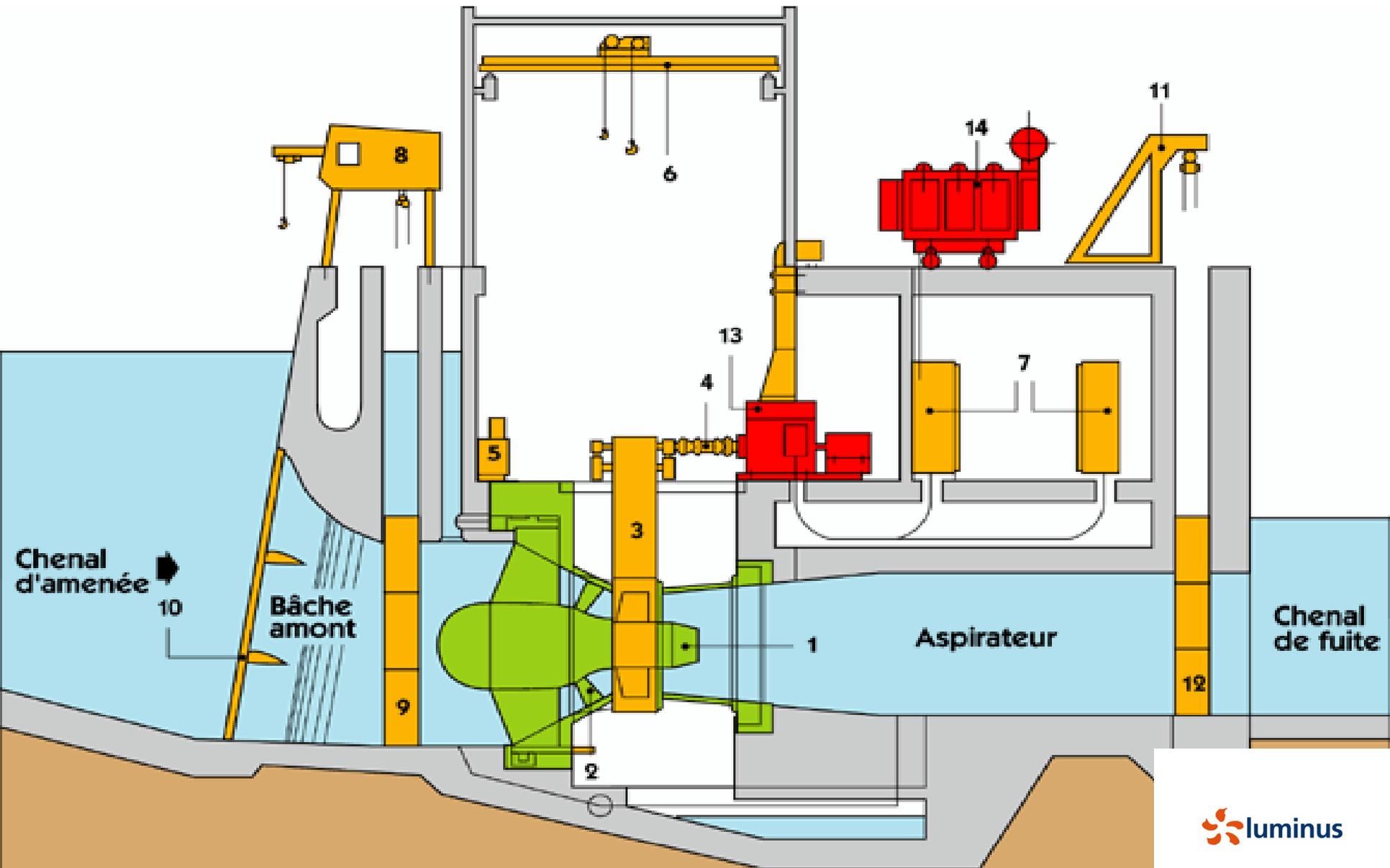


Lixhe



Grands-malades

Fonctionnement – cas de la centrale de Grands-Malades



Points forts et points faibles de la filière hydroélectrique

Points forts :

Maturité technologique

Faible perturbation de l'environnement pour les unités au fil de l'eau

Intermittence faible. Facteur d'utilisation de l'ordre de 4000 h

Points faibles :

Potentiel restant faible en Belgique: ~ 10 MW

Coût élevé pour des nouvelles installations (basses chutes sur la Haute-Meuse)

Peu de possibilités de réglage de la production (au fil de l'eau)

Le solaire photovoltaïque



« Conversion directe du rayonnement solaire en électricité »



Qu'est-ce qu'un module photovoltaïque ?

- Un module photovoltaïque est une plaque qui exposée à la lumière la transforme en énergie électrique sous la forme de courant continu (V, I).
- Les cellules PV sont composées d'un **élément semi-conducteur**, généralement du silicium cristallin (mono, poly).
- Des éléments nouveaux sont en phase de développement ou de recherche. Ils reposent sur des technologies de dépôts de **couches minces**.
- Un module PV est caractérisé par sa puissance (Wc), sa tension (généralement 12V)
- Généralement, les rendements de conversion des modules photoélectriques vont de 6 à 20% (marché), mais il y a des exceptions (multicouches).



Définition de « Wc »

Watt crête = Puissance électrique du module photovoltaïque dans les conditions suivantes:

- Irradiation solaire de 1000 W/m²
- T° de jonction de 25° C
- Position optimale

En d'autres termes, 1 Wc délivre une puissance électrique de 1 W quand il est soumis à un ensoleillement de 1000 W/m².

Notion d'utilisation

L'utilisation (heures) = Nombre de kWh par kWc par an

Exemples:

- à Liège ~ 870 kWh/kWc/an (= 870 h/an ~ 10%)
- à Faro au Portugal : ~ 1550 kWh/kWc/an

Intermittence de la production photovoltaïque

Clients B2B Luminus - 3 au 6 mars 2013

P (kW)

30000

25000

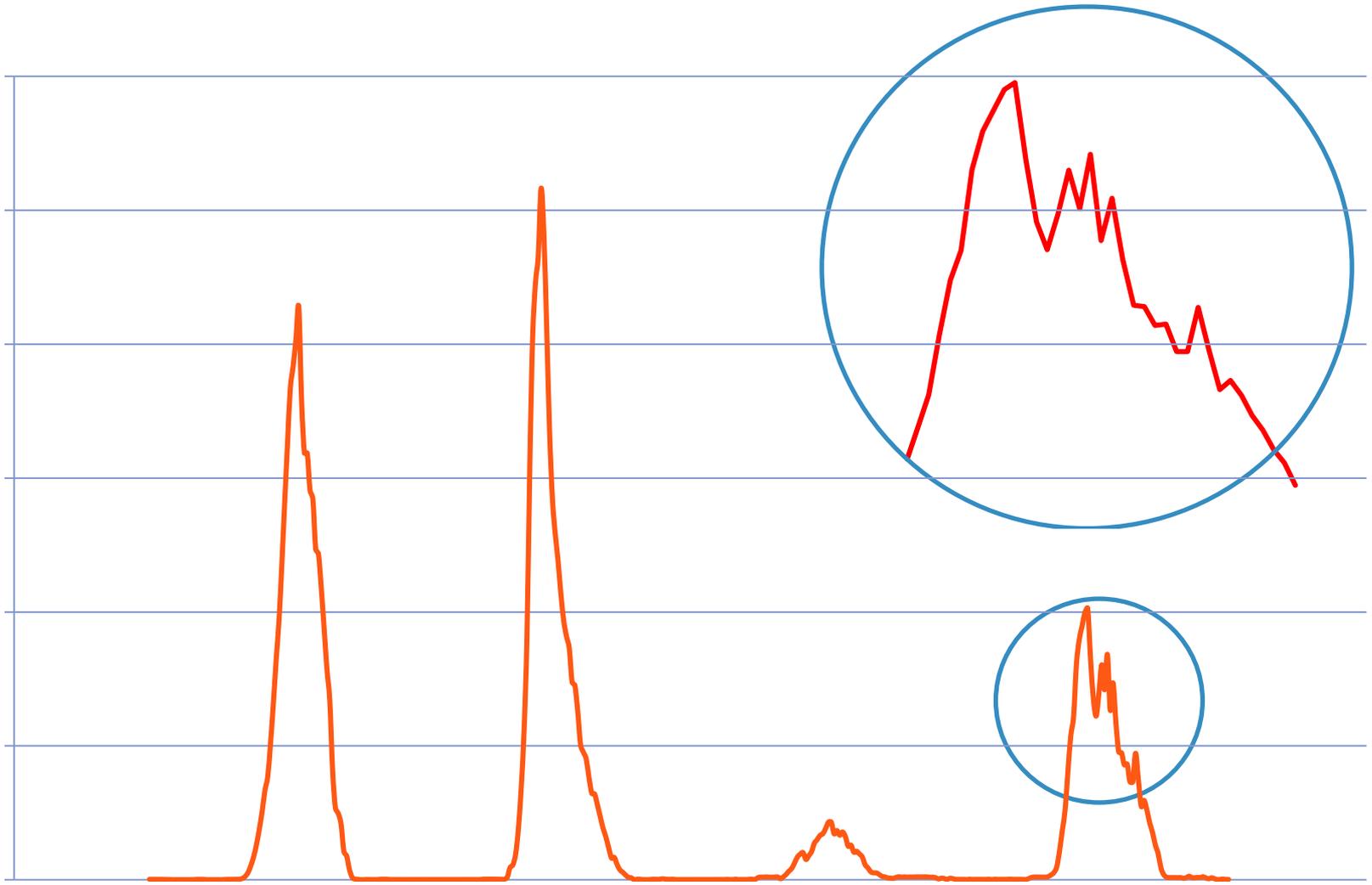
20000

15000

10000

5000

0



Points forts et points faibles de la filière photovoltaïque

Points forts :

- Simplicité de la technologie : peu d'entretien, peut être réalisé par du personnel peu qualifié
- Possibilité d'utiliser des superficies existantes (toitures, etc.)
- Possibilité d'installation au sein des zones d'habitats (pas de nuisance: bruit, émission, ombrage, etc.)

Points faibles :

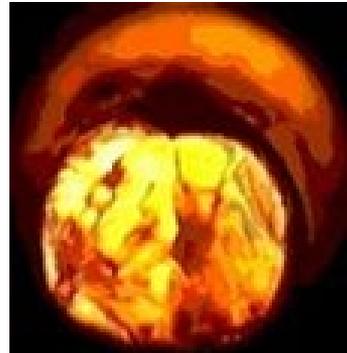
- Coût du kWh électrique toujours supérieur à celui d'autres filières renouvelable bien qu'en forte diminution
- Impact sur la tension du réseau → décrochage des onduleurs
- Intermittence de la production, production nulle la nuit et forte sur une courte période.
- Pas de contrôle sur la production mais prévision possible

La biomasse

« Conversion de la matière organique en électricité. »

« La biomasse n'est considérée comme renouvelable que lorsqu'elle se régénère dans les mêmes proportions qu'elle n'est utilisée »

- **Biomasse sèche**
- **Biomasse humide**



La voie sèche

Elle est principalement constituée par la filière thermo-chimique, qui regroupe les technologies de la combustion, de la gazéification et de la pyrolyse.

1. Combustion : moyen le plus courant : application à la co-combustion.
2. Gazéification : permet l'utilisation d'un combustible gazeux.
3. Pyrolyse.

La voie humide

Conversion des déchets organiques en biogaz qui peut ensuite être utilisé comme combustible de moteur.

1. Cas des gaz de décharge

L'enfouissement des déchets organiques conduit à une décomposition anaérobique (sans oxygène) de ceux-ci générant ainsi du biogaz (~ 50 % méthane).

2. Cas des unités de biométhanisation artificielle

- industrielle
- agricole

Points forts et points faibles de la filière biomasse

Points forts :

- Potentiel théorique important
- Production énergétique stable et prévisible pour la plupart des filières (Pas de problème d'intermittence et contrôle de la production)

Points faibles :

- Manque de maturité technologique pour plusieurs filières
- Emissions atmosphériques (poussières, NOx, SOx, ...)
- Importation massive → faible contribution à l'indépendance énergétique de l'Europe
- Acceptation du public pas toujours facile pour certaines filières
- Caractère seulement partiellement renouvelable (collecte, transport, séchage et préparation de la biomasse)
- Efficacité au m² utile très faible: < PV et << Wind
- Compétition du m² agricole avec d'autres usages (alimentaire, etc.)

4. Mécanismes de soutien aux SER



Economicité de l'électricité verte

- Coût de revient des SER > aux unités classiques (situation avant crise 2021 !)
- Comment couvrir le delta ?
 - Fiscalité
 - Subside à l'investissement
 - **Aide à la production**
 - **Feed-in tarif ou certificats verts**

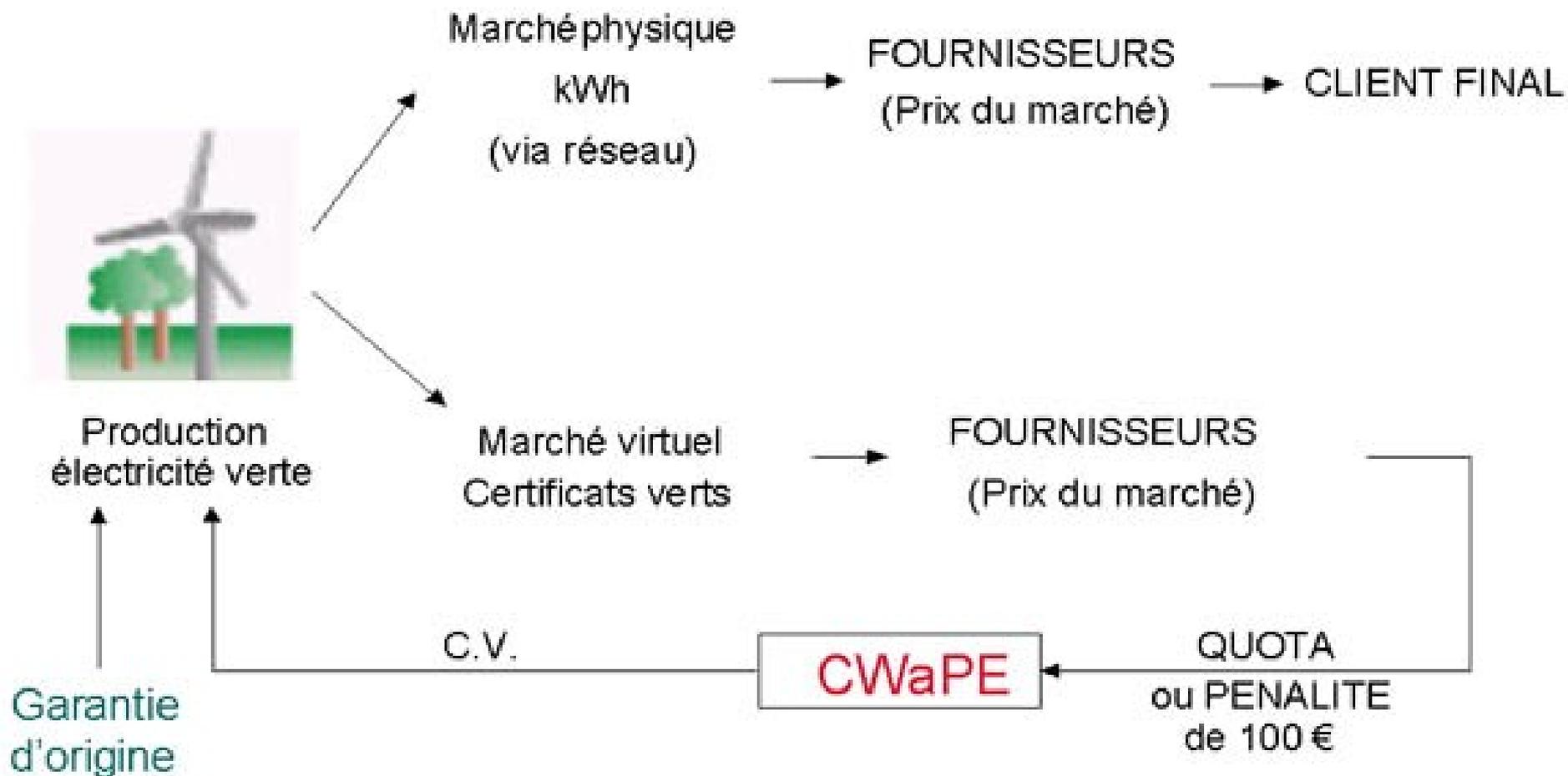
Aide à la production :

Certificats verts / obligation d'achat (feed-in tarif)

- ▶ L'Union européenne a laissé aux états membres la liberté d'organiser leur mécanisme de soutien économique aux SER (*Directive 27 sept. 2001*).
 - ▶ Certains pays optent pour un mécanisme de marché de certificats verts : L'Autriche, la Belgique, la Grande Bretagne, l'Italie, les Pays-Bas et la Suède.
 - ▶ D'autres optent pour un mécanisme d'obligation d'achat (feed-in tarif) : Allemagne, Espagne, France, etc.
- Belgique: les Certificats Verts (CV) ont remplacé le système d'obligation d'achat
- D'autres mécanismes également mis en place (Qualiwatt, ...)

En Belgique choix d'un mécanisme de certificats verts

ATTENTION : Depuis d'autres mécanismes se sont ajoutés ou ont remplacé le mécanismes des CV



En Belgique : 3 marchés et 4 sources de Certificats verts :

▶ La Belgique met en place actuellement 3 marchés distincts de certificats verts :

■ En Flandre, en Wallonie, sur la Région Bruxelles capitale

+ une source fédérale de certificats verts : parcs éoliens off-shore

■ Ces mécanismes se distinguent entre autres par:

- les quotas,
- les pénalités,
- les filières reconnues (hydraulique, cogénération, etc.),
- la méthodologie d'allocation,
- les garanties de prix minimum
- la relation entre cogénération et énergie renouvelable

Mécanismes de soutien: conclusions

Le mécanisme des CV touche à ces limites !

- Plantage du marché en Wallonie: plusieurs millions de CV en excès ;
- Modifications fréquentes des règles du jeu en Flandre et en Wallonie ;
- Pas de limitation du PV en Flandre pendant plusieurs années → gros impact financier sur la facture !
- Evolutions fréquentes dans toutes les régions ;
- Quali watt pour le petit PV en RW mis en place en 2014 pour disparaître en 2018 ;
- Dans certains cas, effet rétroactif (cas des CV photovoltaïques en Wallonie.)

Evolution du secteur : 2 transformations simultanées

Croissance des énergies renouvelables

Libéralisation

4. Libéralisation du secteur



Libéralisation : les objectifs de l'Europe

- ▶ Mettre fin aux situations de monopoles ou quasi-monopoles existantes dans les états membres
 - En Belgique : CPTÉ qui regroupait Electrabel et SPE

- ▶ Créer une concurrence entre les acteurs pour :
 - Attirer de nouveaux acteurs de marché
 - Engendrer une baisse des prix pour le consommateur
 - Augmentation de la qualité de service

L'Europe libéralise le secteur de l'énergie

- ▶ L'Europe met en œuvre la libéralisation du secteur de l'énergie dès 1996
- ▶ Différentes étapes se succèdent à des rythmes différents d'un état à l'autre, d'une région à l'autre
 - Libéralisation complète en Flandre : 2003
 - Libéralisation complète en Wallonie: 2007
- ▶ Les clients deviennent « éligibles » progressivement en fonction de leur taille

A QUOI
RESSEMBLE AU
FINAL LE
PAYSAGE
ÉNERGÉTIQUE
BELGE ?

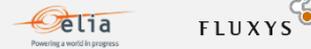
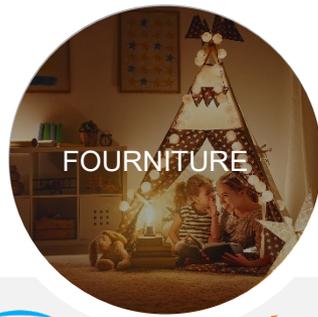


Un marché organisé entre activités libéralisées et régulées

- Libéralisation des activités de production et de fourniture
- Monopole régulé pour le transport et distribution



Différents niveaux de régulations fédérale et régionales



Activités contrôlées par les régulateurs



— CREG —

- Tarifs de transport
- Tarif social
- Nucléaire et éolien offshore

- Transparence
- Compétition
- Suit les intérêts publics



brugel

- Supervision du marché régional du gaz & électricité
- Conseil aux autorités régionales
- Compteurs intelligents et comptage de la production solaire

- Tarifs de distribution
- Protection des clients
- Mécanisme de soutien aux renouvelables

Libéralisation : Les conséquences

► Une séparation des rôles:

- Production et importation (libéralisé)
- Transport (régulé)
- Distribution (régulé)
- Fourniture (libéralisé)
- Trading (libéralisé)
- Remplacement du comité de contrôle par 4 régulateurs

➔ Divergence des intérêts entre les métiers !

► Multiplication des acteurs

- Acteurs de marchés (fournisseurs, producteurs, traders, ...)
- Compétition à tous les niveaux
- Apparition du marketing énergétique

► Gestion d'équilibre individuelle (ARP)

► Réduction des marges, mais accroissement des coûts !

Analyse et conclusions

Les points positifs

- L'éolien et le photovoltaïque se sont développés massivement en seulement quelques années (12 GW)
- Les économies en matière de ressources primaires (combustibles fossiles) sont importantes ;
- Les émissions évitées de CO₂ (et autres émissions atmosphériques) sont importantes également ;

Les points à améliorer

- Problèmes de congestion dans certaines parties du réseau
- Difficulté de réaliser l'équilibre entre production et consommation quand les centrales modulantes (gaz) ne fonctionnent pas
- Réduction de puissance des machines aux moments critiques !
- Augmentation des importations d'électricité en Belgique au cours des dernières années
- Augmentation des coûts pour le client final (certificats verts, renforcement réseau, taxes diverses)



**QUESTIONS
& RÉPONSES**

