

# Energie renouvelable, quel technologie pour quel usage ?

---

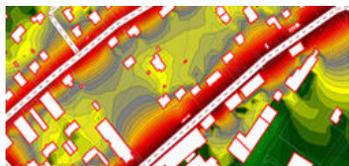
Les éoliennes

4 novembre 2008, Wépion  
Ir Ralph KLAUS

C'S'D'



# CSD Ingénieurs-conseils



Environnement &  
Aménagement du territoire



Construction durable, HQE®



Sites et sols pollués



Géologie / géotechnique



Traitement de l'eau

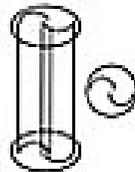


40 références dans le domaine de l'éolien

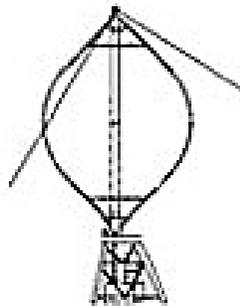
# Principes de fonctionnement et technologies

- Principe de fonctionnement : conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, puis en énergie électrique (alternateur)
- Deux types de technologies :
  - Éoliennes à axe horizontal
  - Éoliennes à axe vertical

À AXE VERTICAL



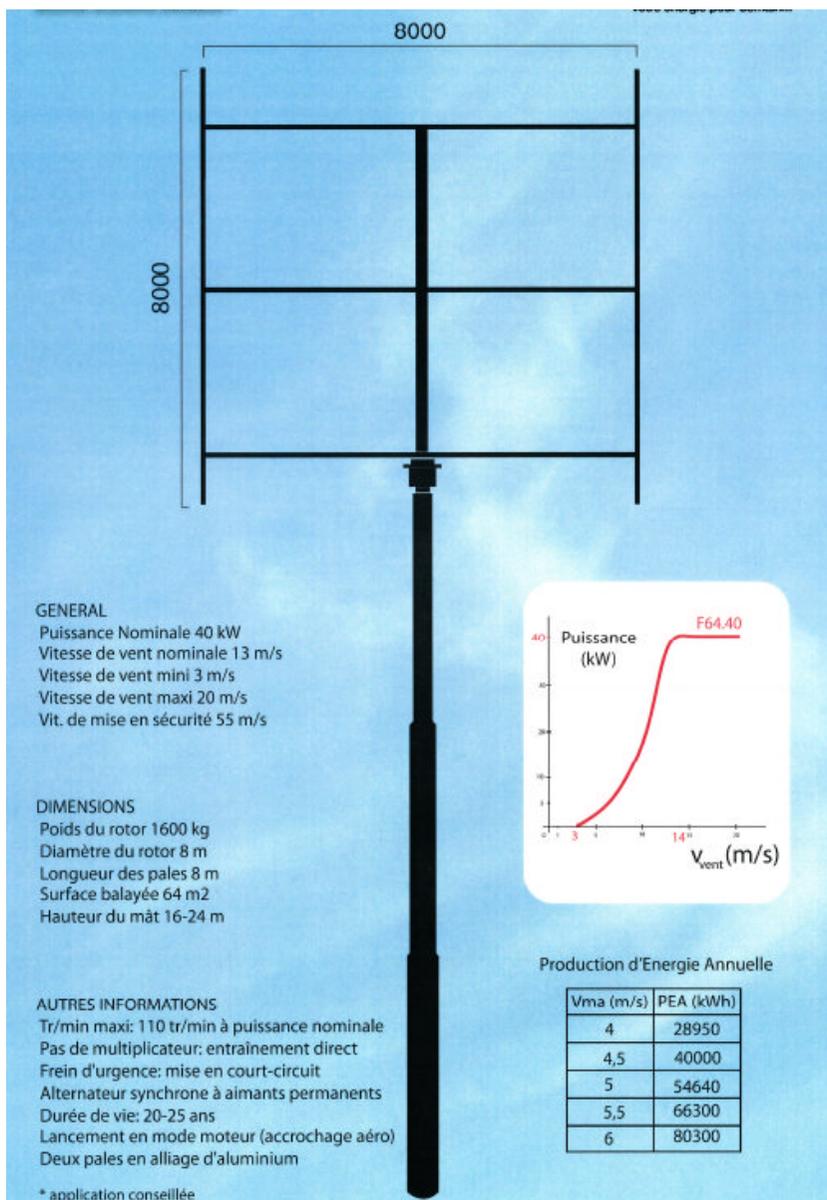
DE TYPE SAVONIUS



DE TYPE DARRIEUS



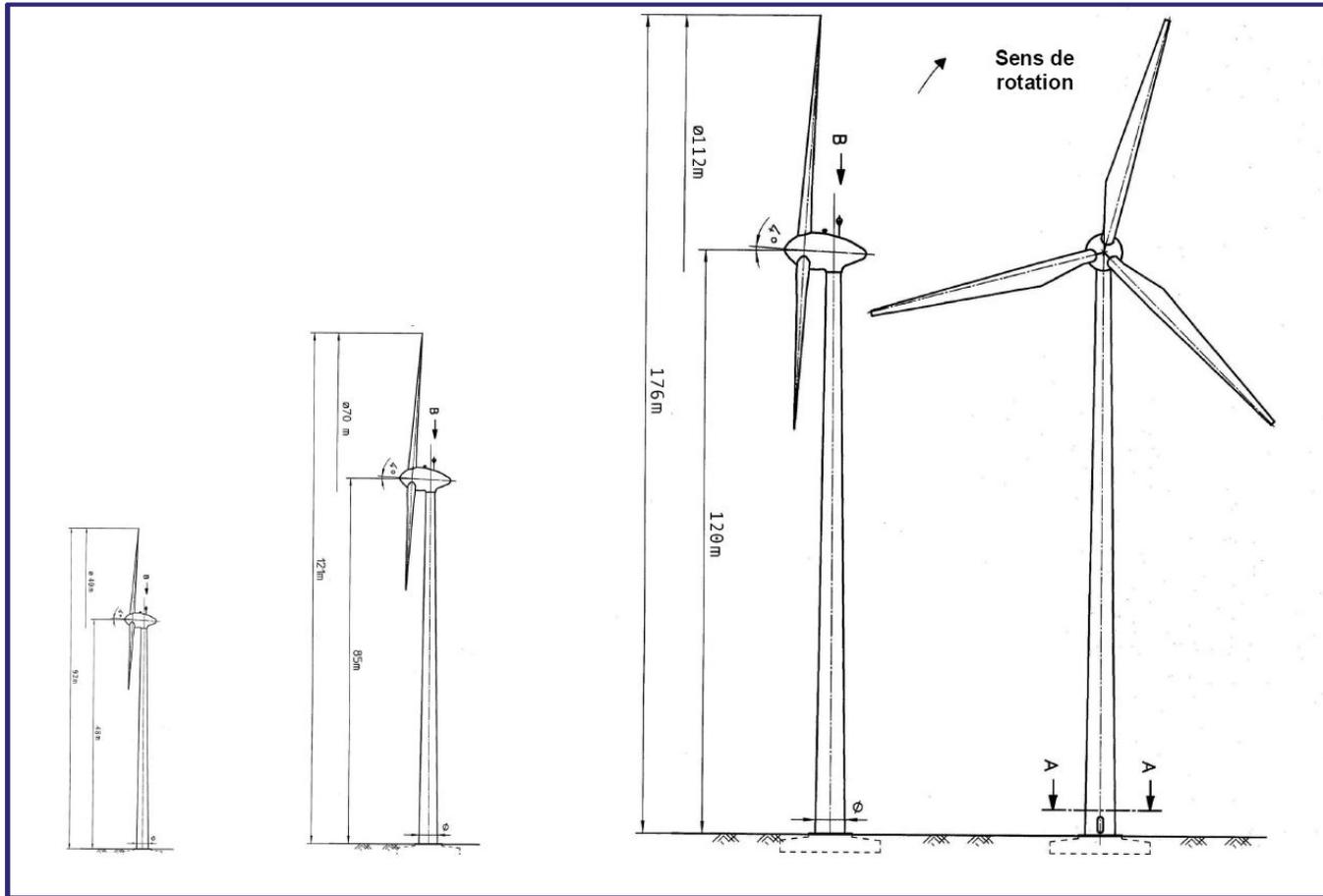
# Eoliennes à axe vertical - technologie



Source: Fairwind

# Eoliennes à axe horizontal - technologie

- Gamme de puissances de 300 kW à 6.000 kW



Perwez, 2001  
600 kW

Sainte-Ode, 2003  
1.500 kW

Estinnes, 2008  
6.000 kW

# Eoliennes à axe horizontal - technologie

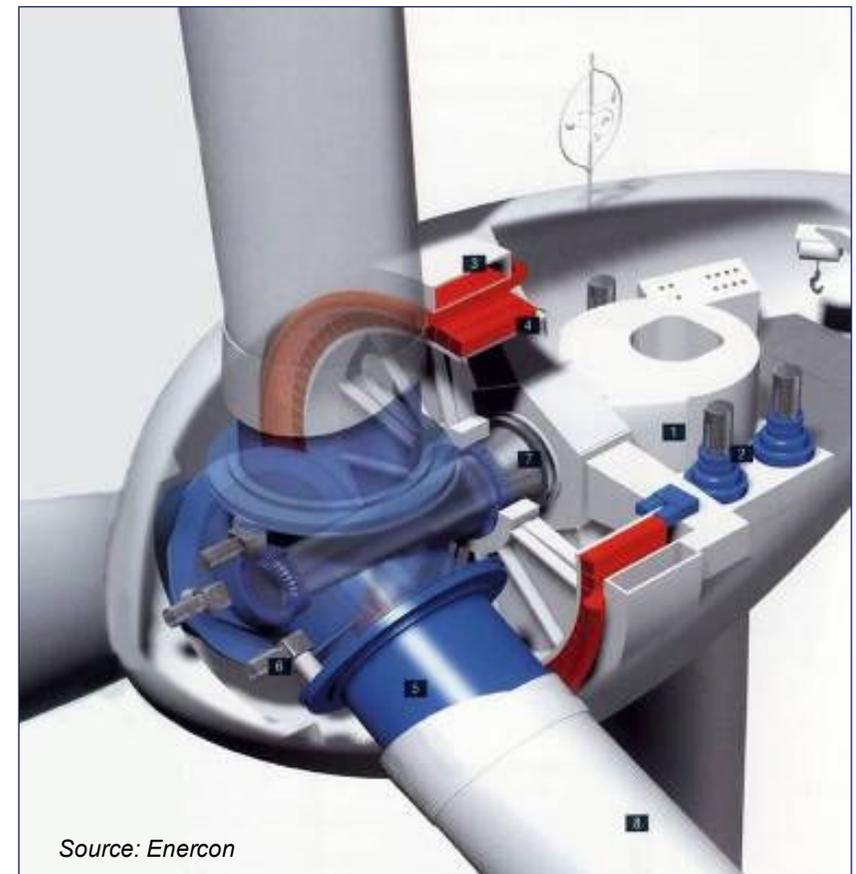
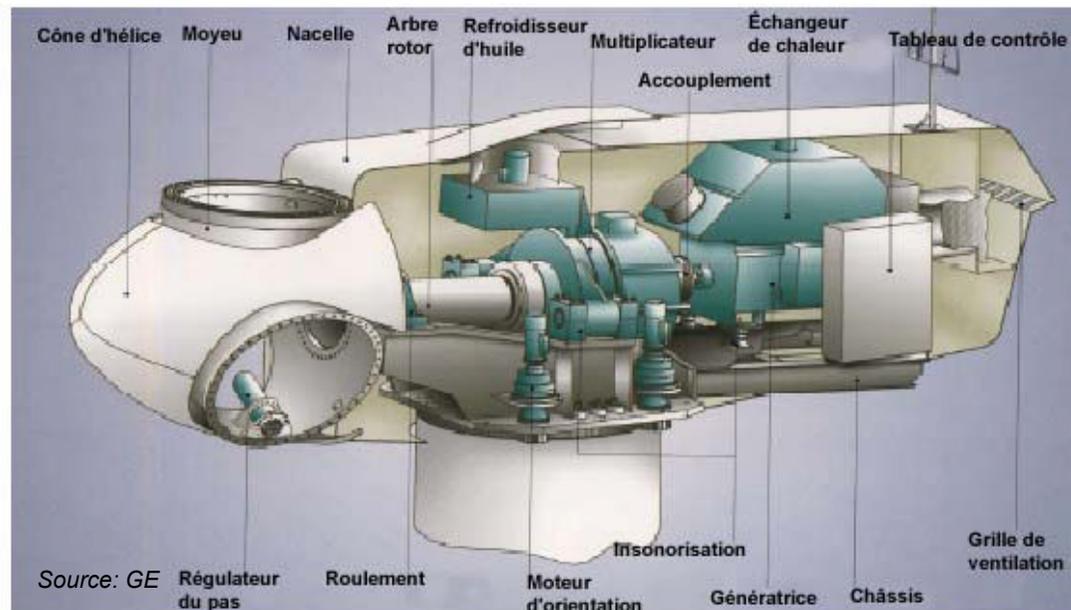
- Fondation en béton
- Mat en acier ou béton
- Nacelle
- Pales en matériaux composites
- Poids total : 400 à 900 tonnes





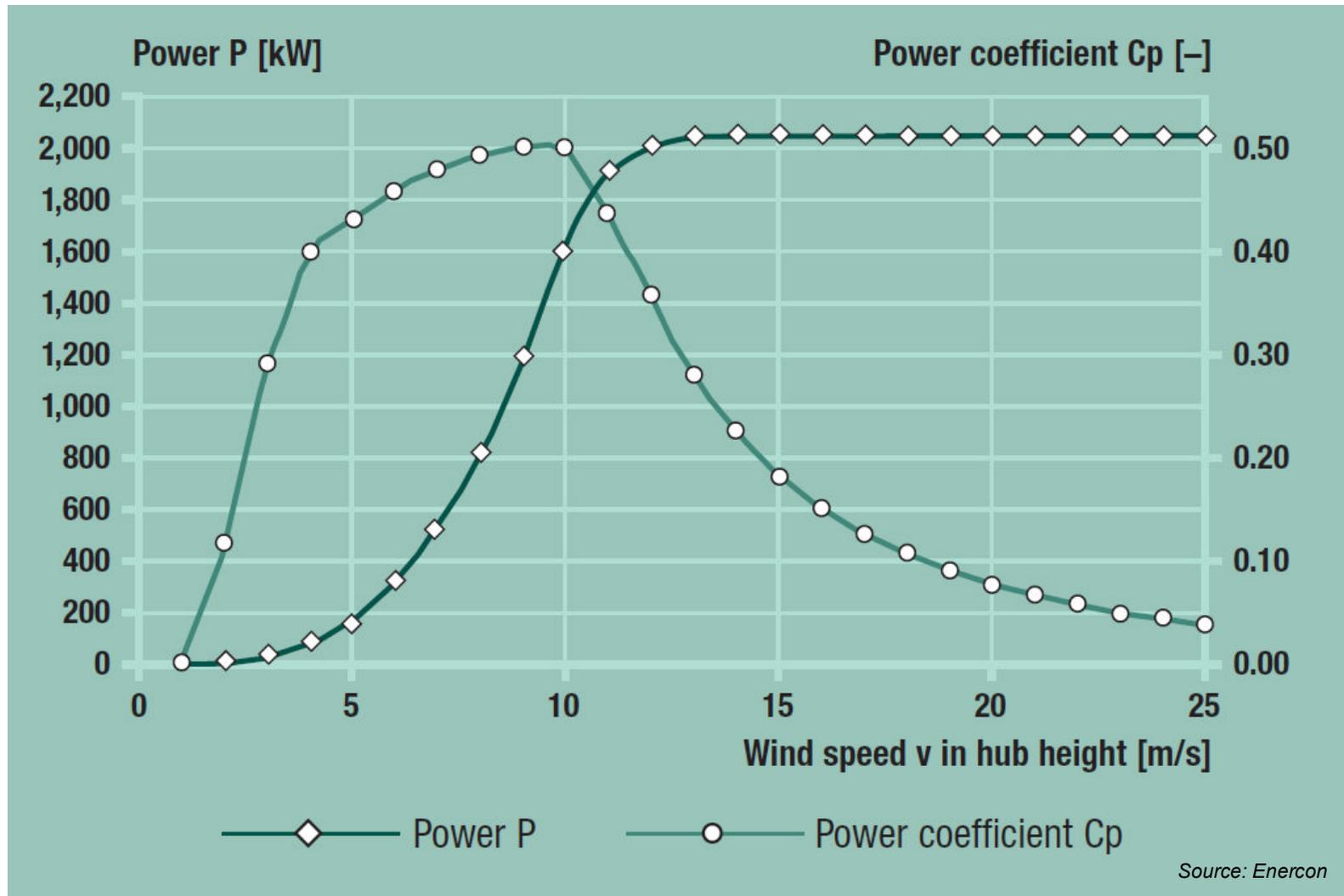
# Eoliennes à axe horizontal - technologie

- Deux technologies:
  - Avec boîte de réduction
  - À transmission directe



# Eoliennes à axe horizontal - technologie

- Exemple : courbe de puissance d'une éolienne Enercon E-82

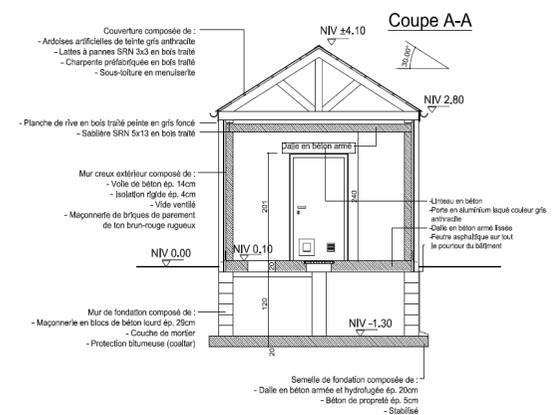
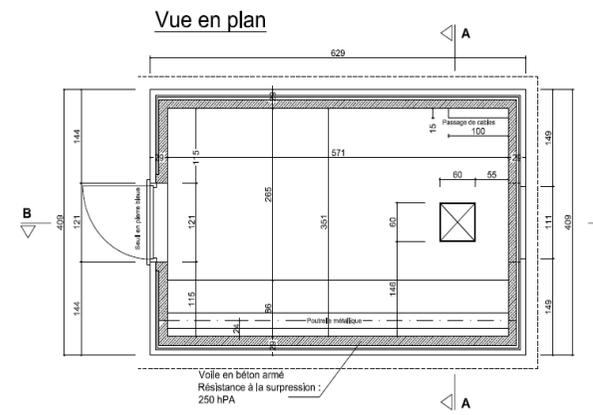
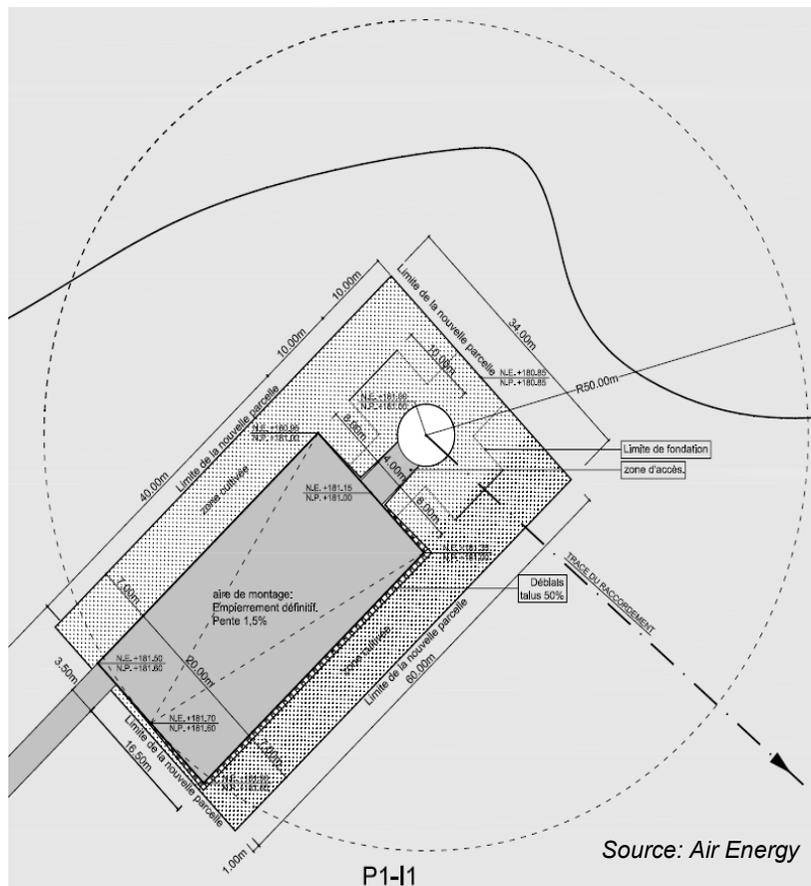


# Eoliennes à axe horizontal - technologie

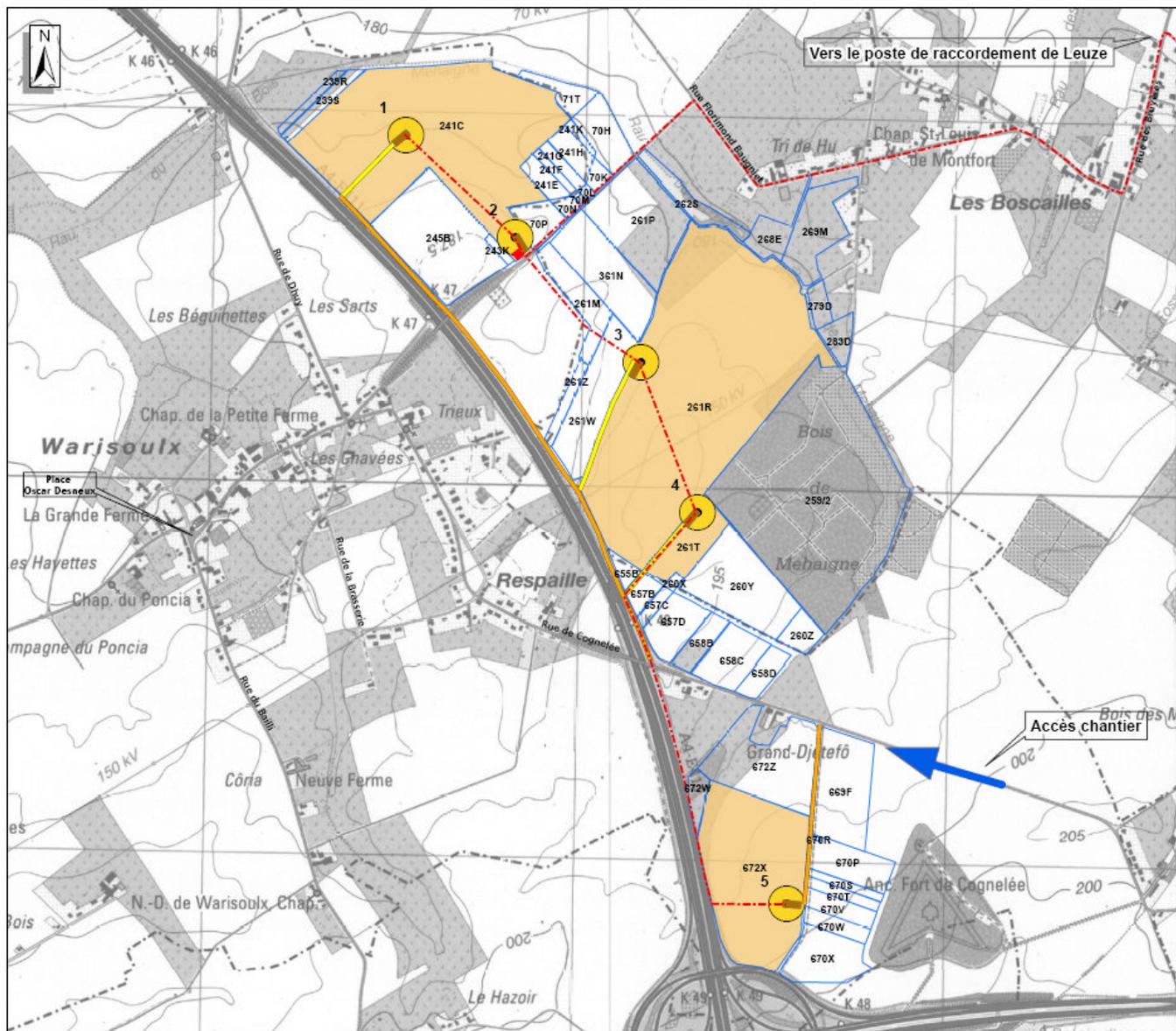
Caractéristique	MM92	GE 2.5	E-82
<b>Constructeur</b>	REpower	General Electric	Enercon
<b>Tour</b>			
Hauteur	100 m	100 m	98 m
Matériau	Acier	Acier	Béton
Couleur	Blanc cassé	Blanc cassé	Blanc cassé
Diamètre à la base	4,0 m	4,3 m	7,5 m
Diamètre au sommet	2,0 m	3,075 m	2,0 m
<b>Rotor</b>			
Diamètre	92 m	100 m	82 m
Vitesse de rotation	7,8 à 15,0 tr/min	5,0 à 14,0 tr/min	6,0 à 19,5 tr/min
Vitesse de vent de démarrage	3,5 m/s	3,0 m/s	2,5 m/s
Vitesse de vent d'arrêt	24,0 m/s	25 m/s	28,0 m/s
Vitesse de vent nominale	11,0 m/s	13,0 m/s	12,0 m/s
<b>Génératrice</b>			
Technologie	Asynchrone	Asynchrone	Synchrone
Puissance	2.000 kW	2.500 kW	2.000 kW
Tension délivrée	690 V	690 V	690 V
Fréquence	50 Hz	50 Hz	50 Hz
<b>Transformateur</b>			
Puissance	2.300 kVA	2.800 kVA	2.300 kVA
Technologie	Sec	Sec	Sec
Emplacement	Tour	Tour	Tour
<b>Fondation</b>			
Dimensions horizontales maximales		18 m x 18 m	
Dimensions verticales maximales		2,5 à 3,5 m	
<b>Divers</b>			
Hauteur totale	146 m	149 m	139 m
Masse totale	+/- 320 t	+/- 400 t	+/- 900 t

# Eoliennes à axe horizontal - technologie

- Les aménagements et constructions annexes d'un parc éolien
  - Aires de montage (environ 25 m x 60 m)
  - Chemins d'accès (minimum 4 m de largeur, rayons de courbure suffisants)
  - Cabine de tête et câblage électrique souterrain



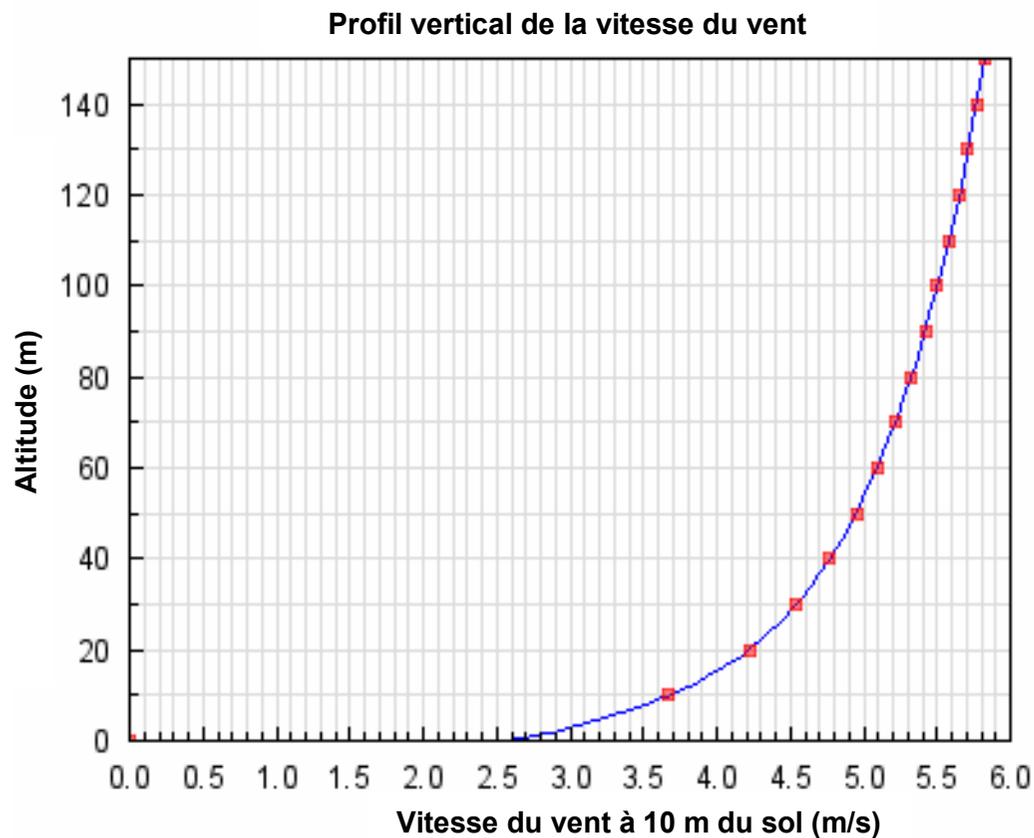
# Eoliennes à axe horizontal - technologie





# Eoliennes à axe horizontal - performances

- Vitesse du vent dépendant de la hauteur par rapport au sol (profil logarithmique)



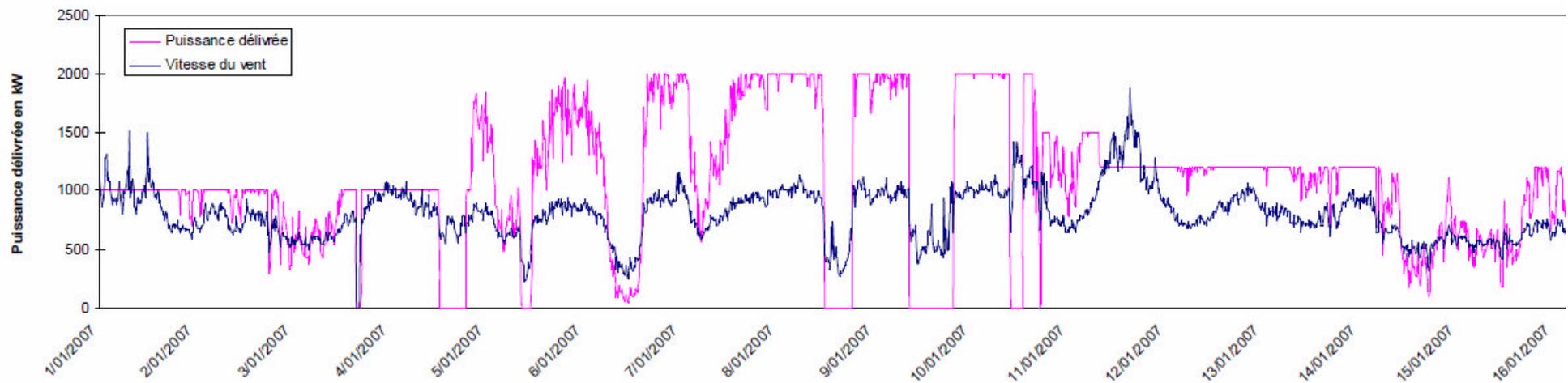
Source: wind-data.ch



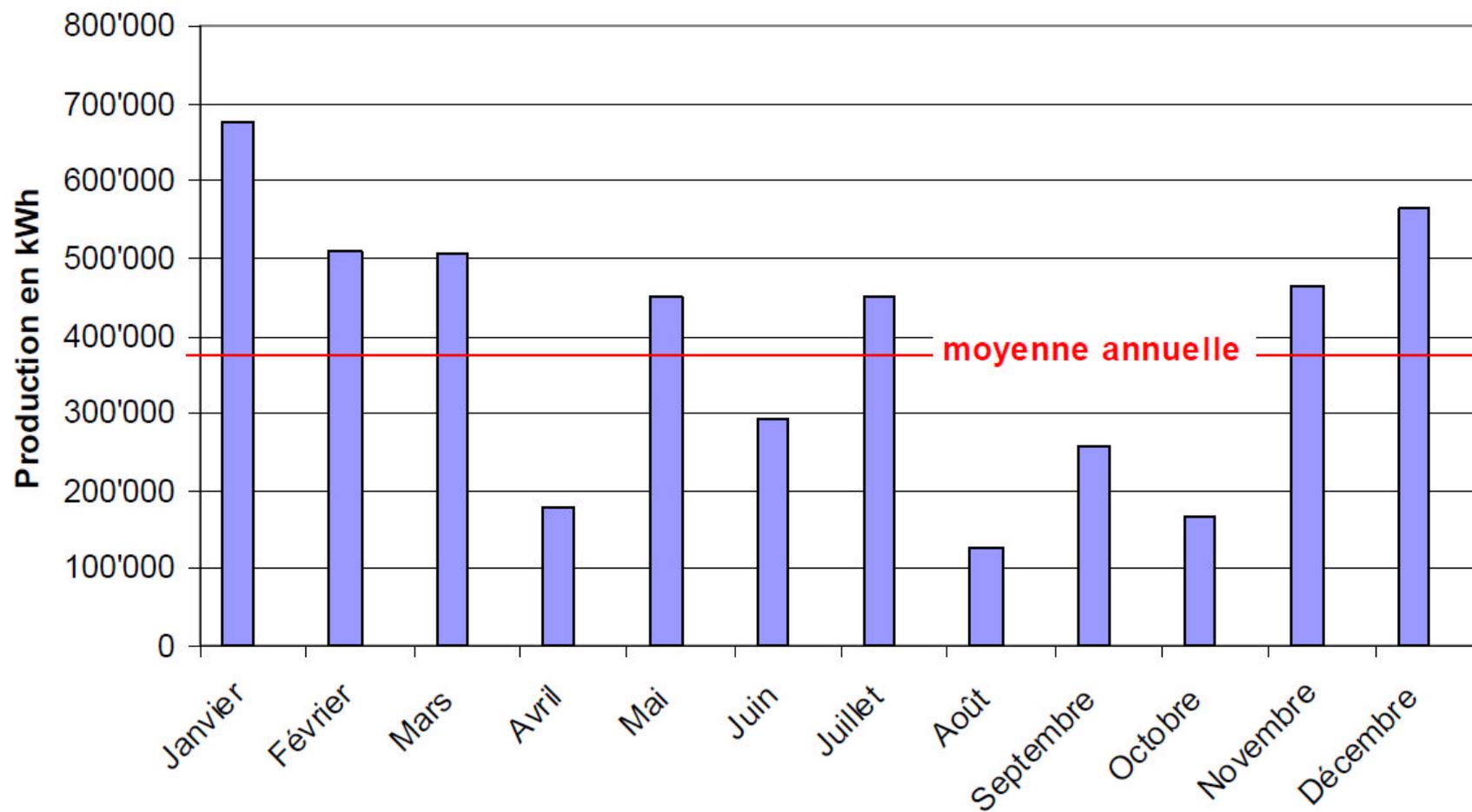


## Eoliennes à axe horizontal - performances

- Production dépendant de la vitesse du vent
- Performance exprimé par le facteur de capacité, soit environ 25 % ou 2.200 heures de fonctionnement à pleine puissance
- Production de l'ordre de 4,5 mio kWh par an pour une machine de 2 MW (+/- 1.200 ménages)

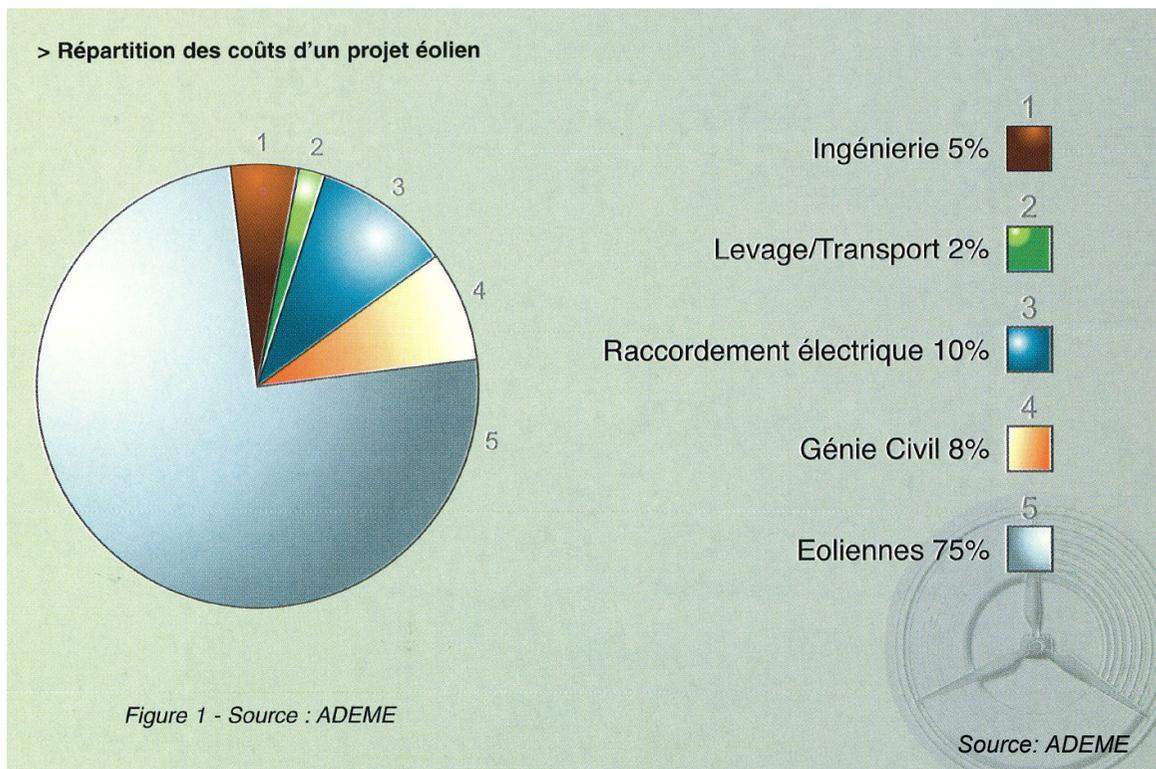


# Eoliennes à axe horizontal - performances



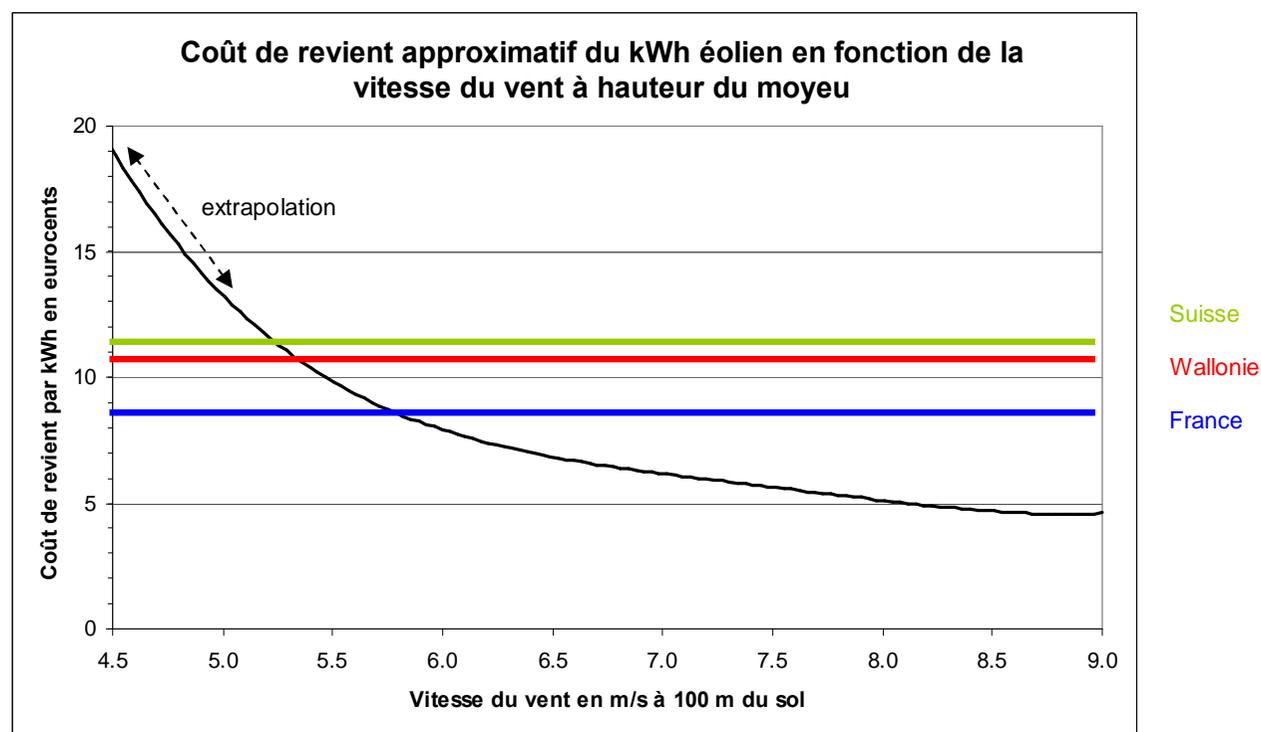
# Eoliennes à axe horizontal – Aspects économiques

- Coût de l'investissement : +/- 1.200.000 € MW installé



## Eoliennes à axe horizontal – Aspects économiques

- Revenu généré par l'éolienne  
= prix de l'électricité grise + vente certificats verts
- Coût de revient du kWh fortement dépendant de la qualité du gisement éolien du site
- Rentabilité d'un site avant tout dépendant des mécanismes de soutien mis en place



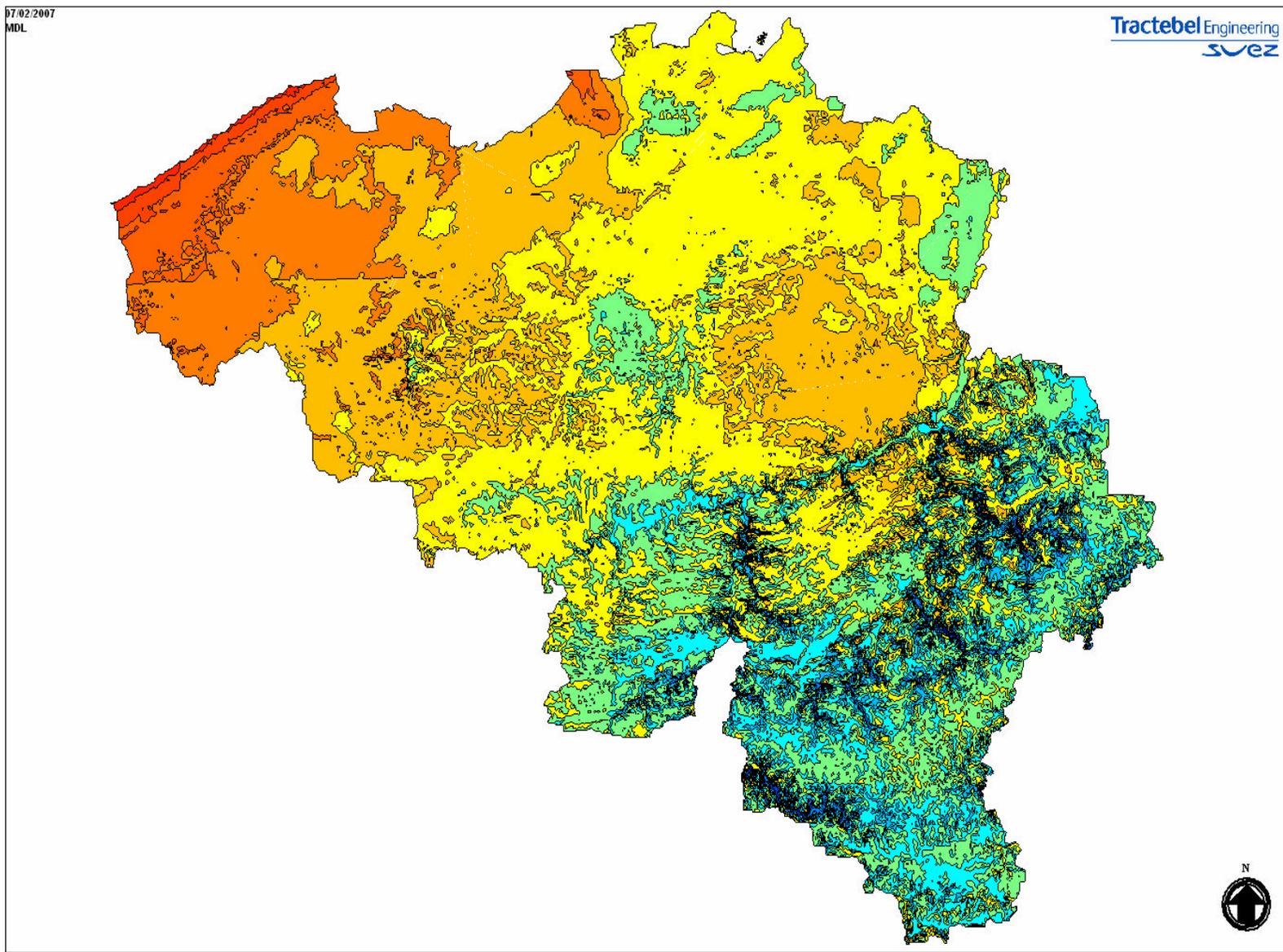


## Eoliennes à axe horizontal – quels usages ?

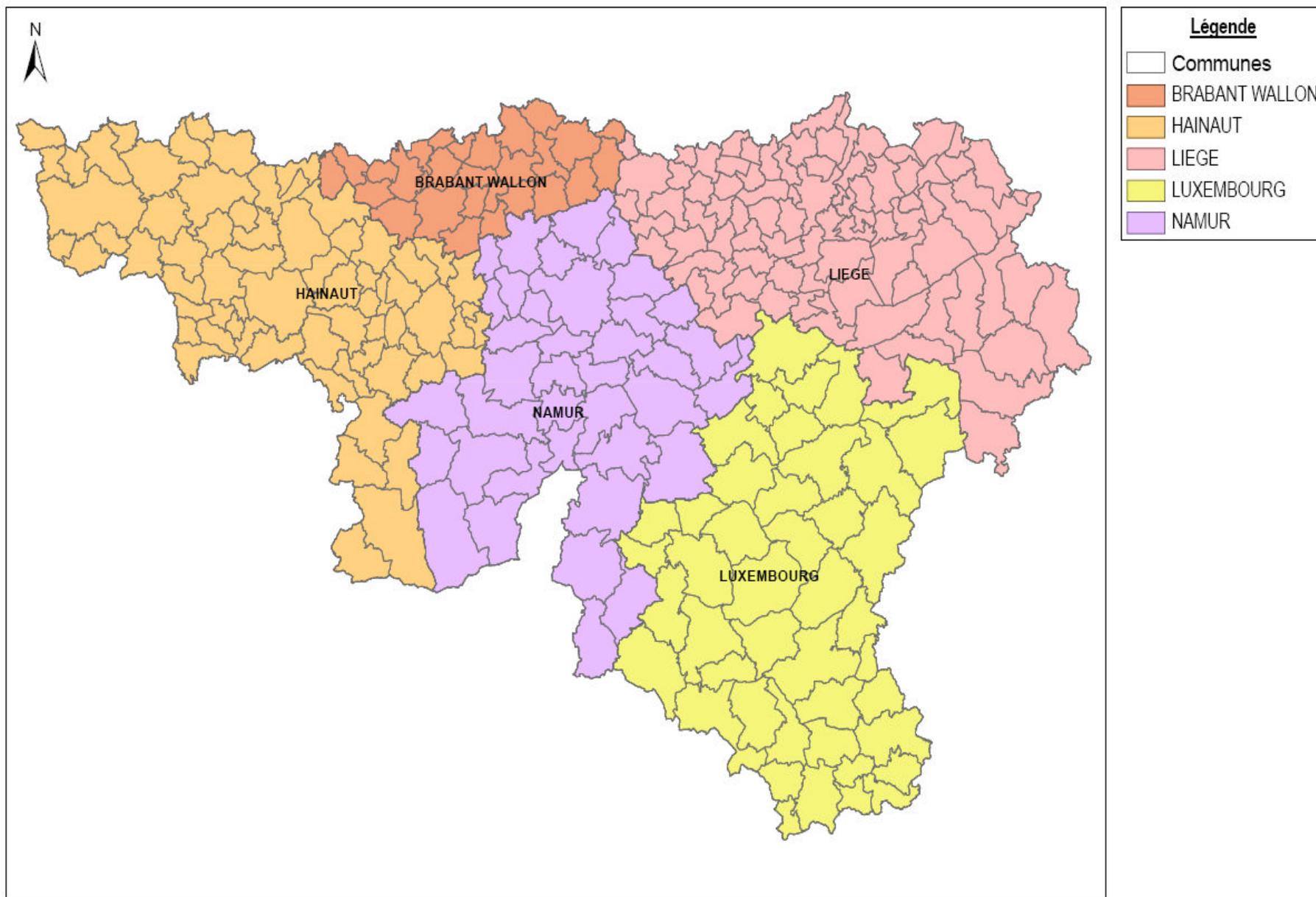
---

- Conditions de base:
  - Site venteux : min. 5,5 m/s à 100 m du sol
  - Localisation en dehors des couloirs aériens (civils et militaires)
  - Localisation en dehors des zones d'influence des radars
  - Possibilité d'injection dans le réseau électrique
  
- Le Cadre de référence pour l'implantation d'éoliennes en Région wallonne (GW, 2001) fixe les critères suivants :
  - Éolienne tri-pale à mat tubulaire plein
  - Principe de regroupement : parcs de min. 5 à max. 15 turbines
  - Maximisation de la puissance sur un site : éoliennes d'une puissance unitaire de min. 2 MW
  - Implantation en zone industrielle ou agricole (dérogation requise)
  - Distances suffisantes par rapport à l'habitat : min. 350 à 700 m
  - Limitation de la covisibilité entre 2 parcs éoliens (éviter effet de mitage des paysages)
  - Nombreux critères environnementaux (bruit, ombre portée, etc.) et d'aménagement du territoire (visibilité, etc.)

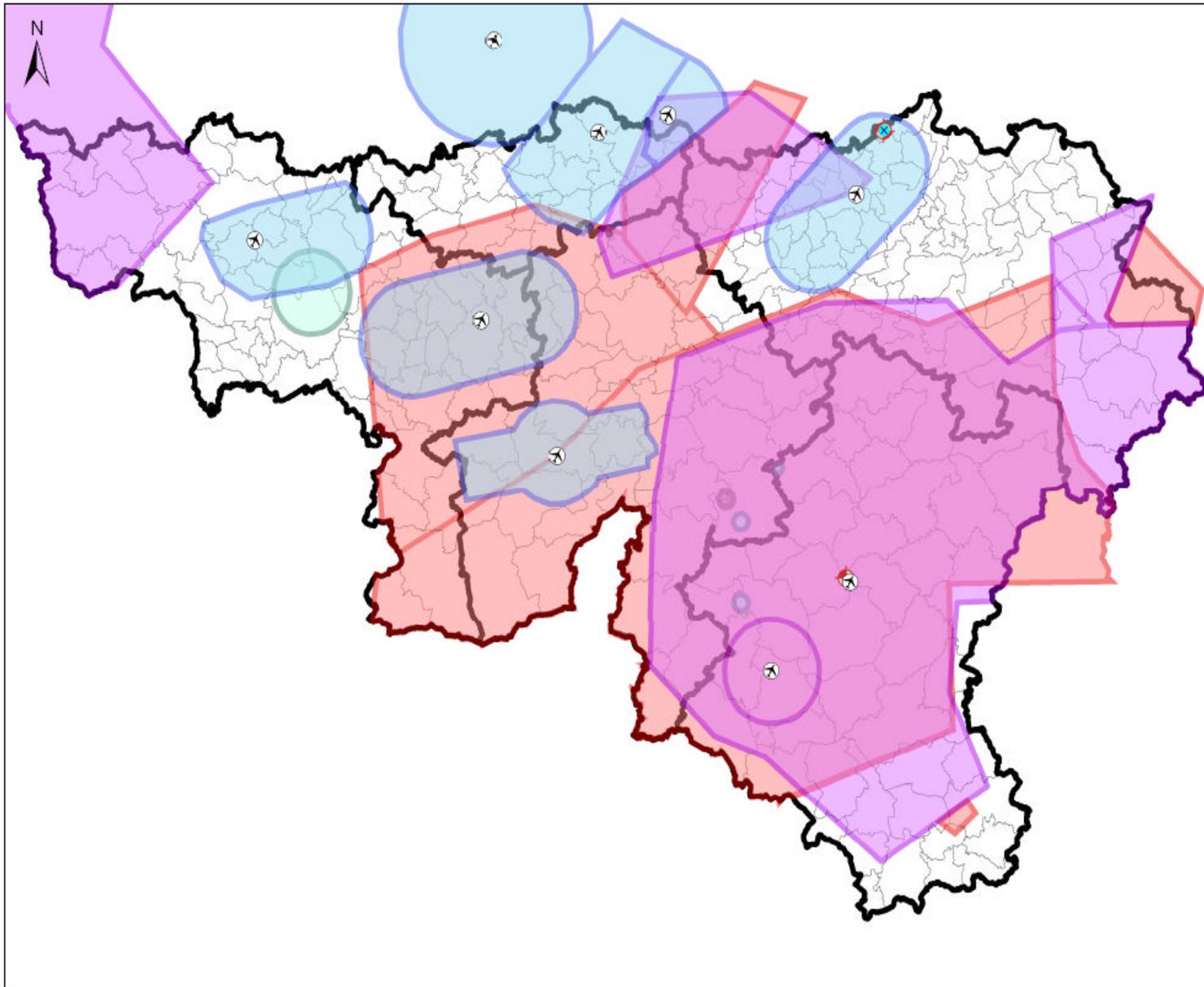
# Atlas du vent



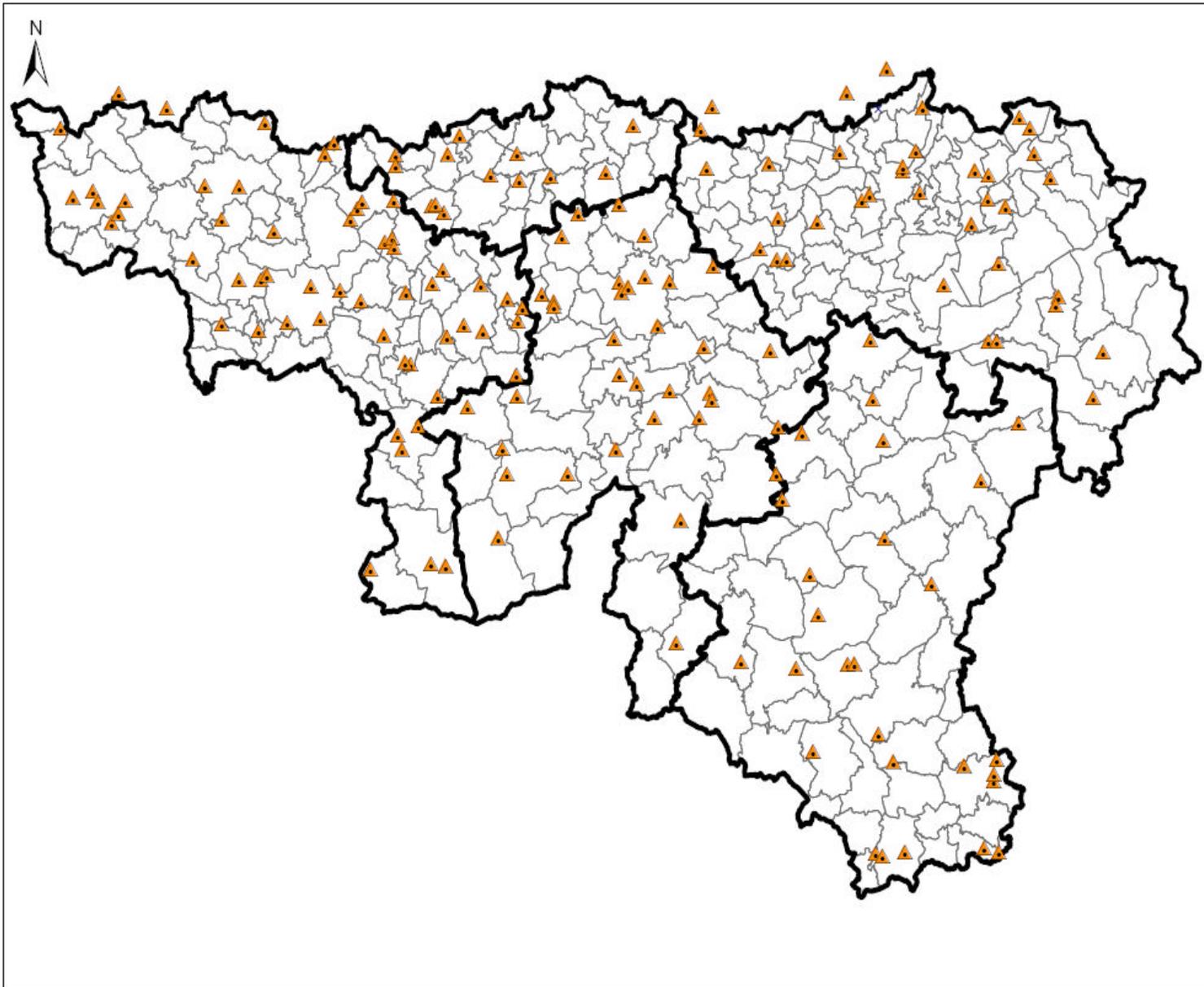
# Communes wallonnes



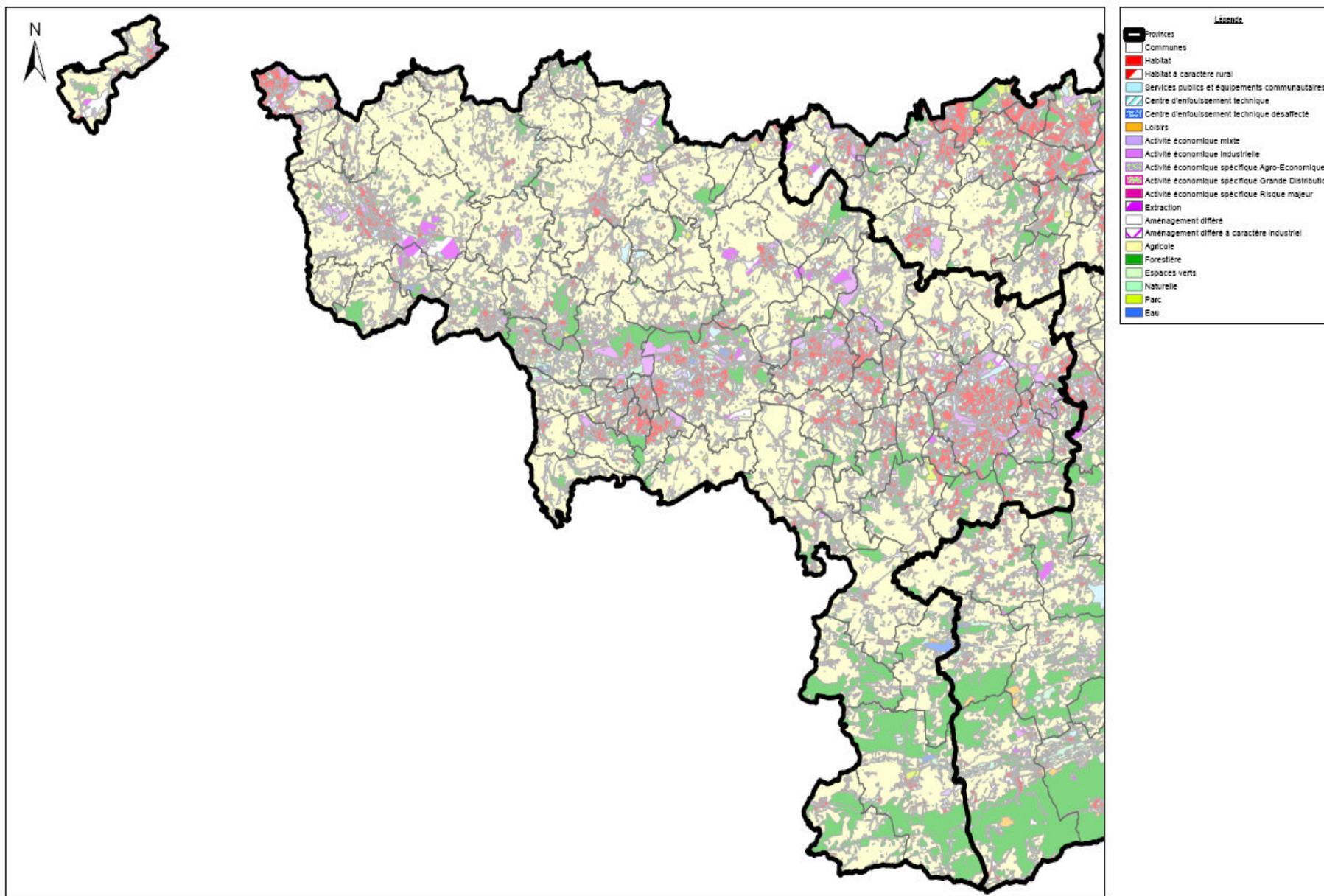
# Restrictions aériennes



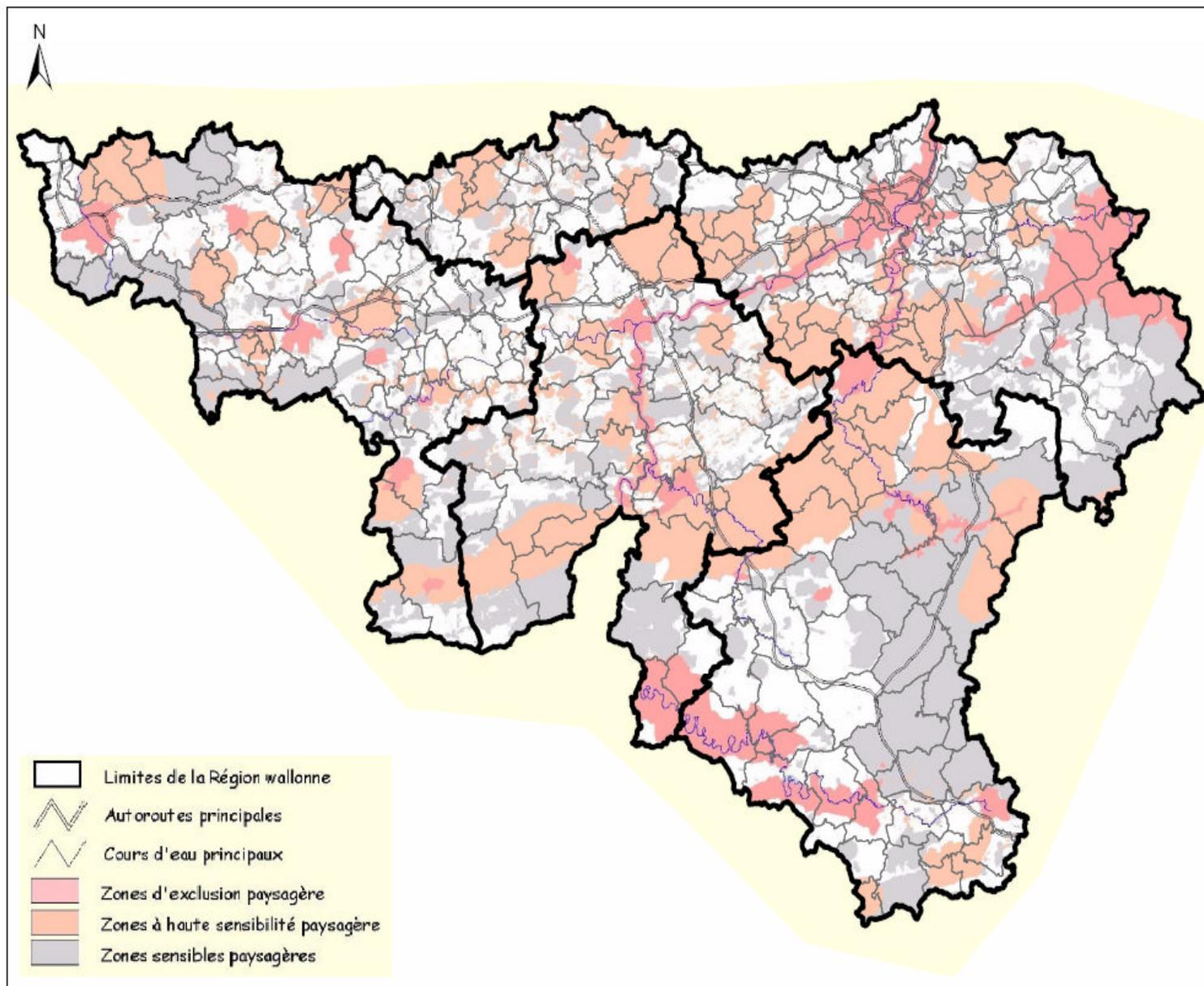
# Postes de raccordement électrique



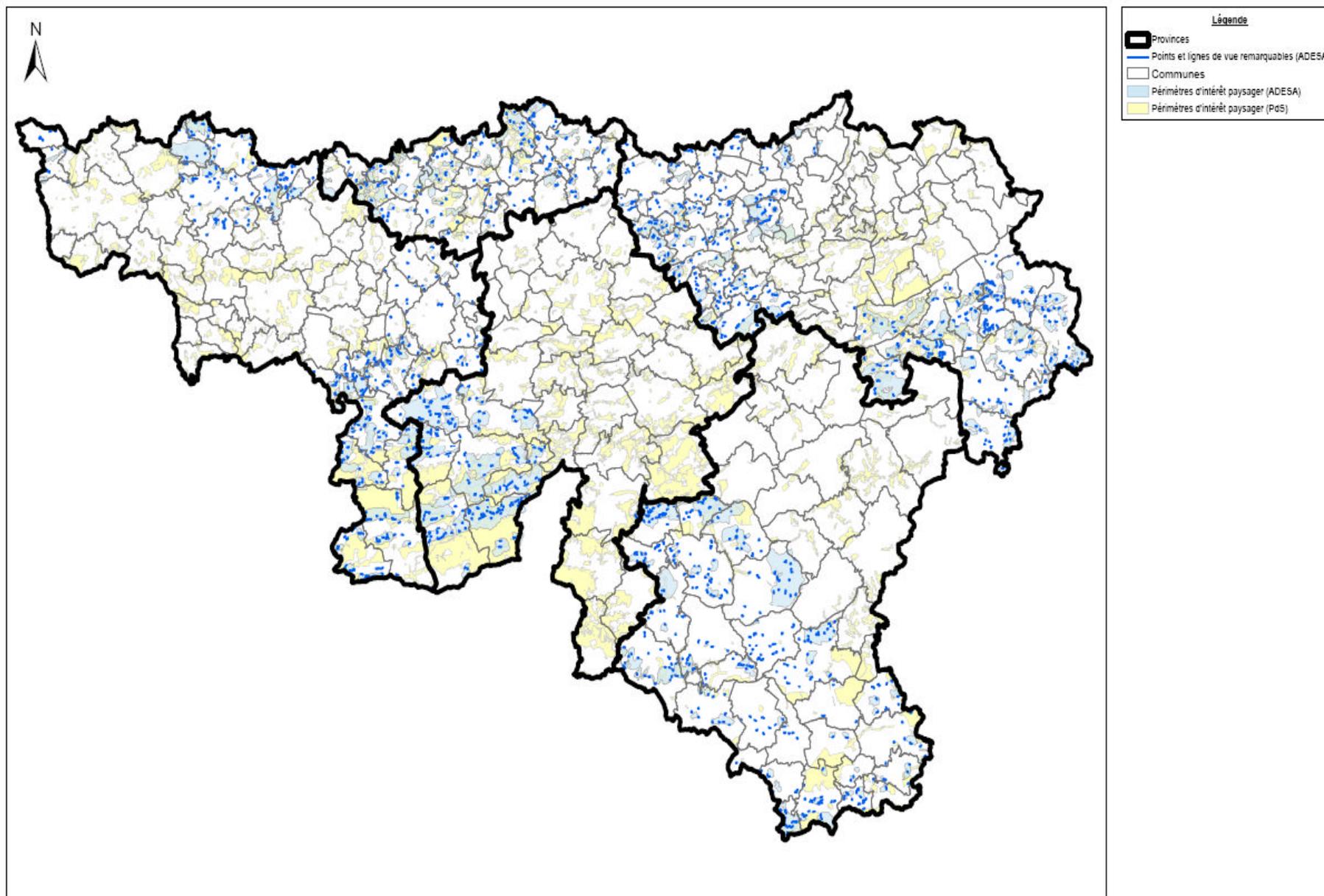
# Affectation du sol



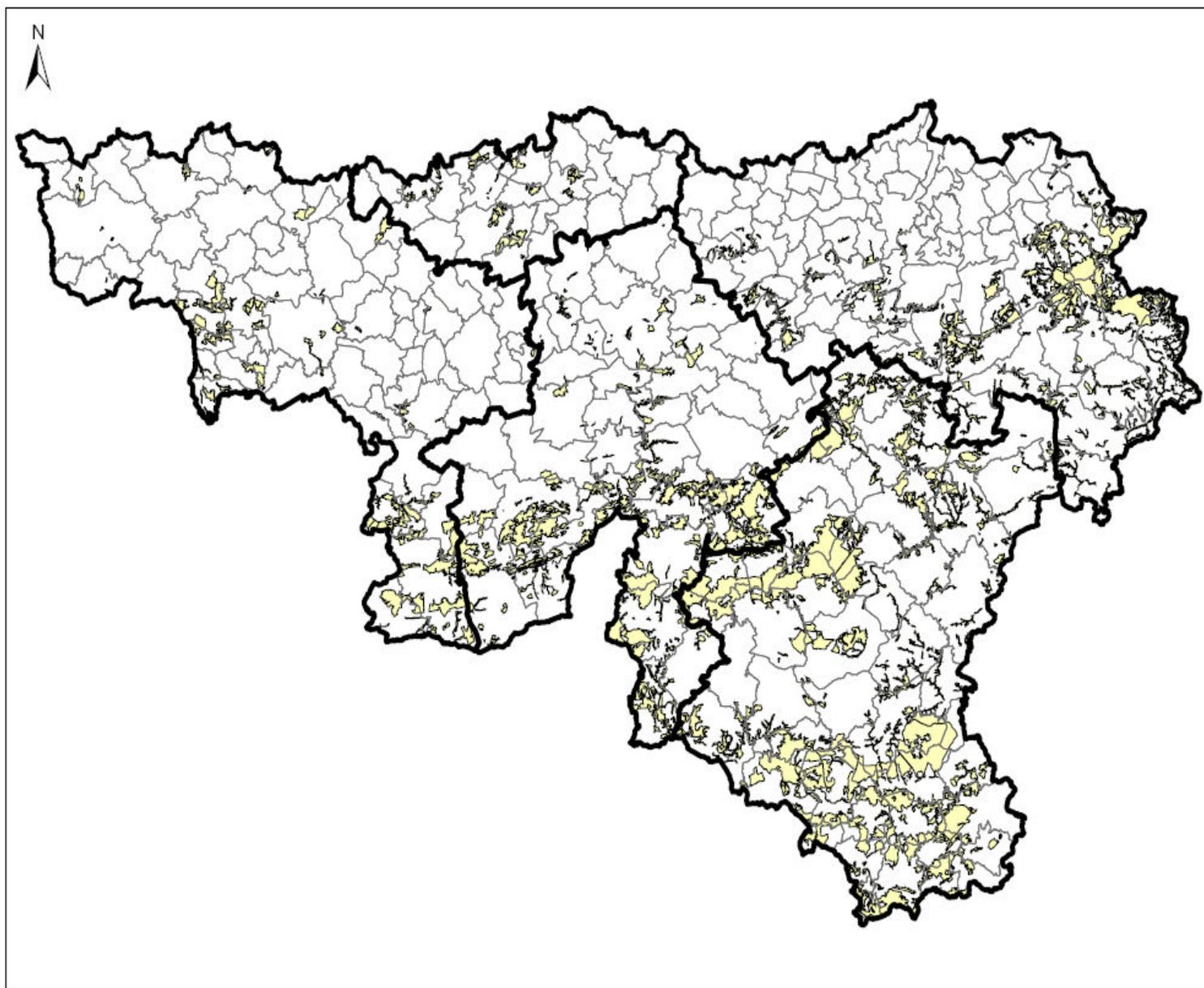
# Zone de protection paysagère (carte 'Feltz')



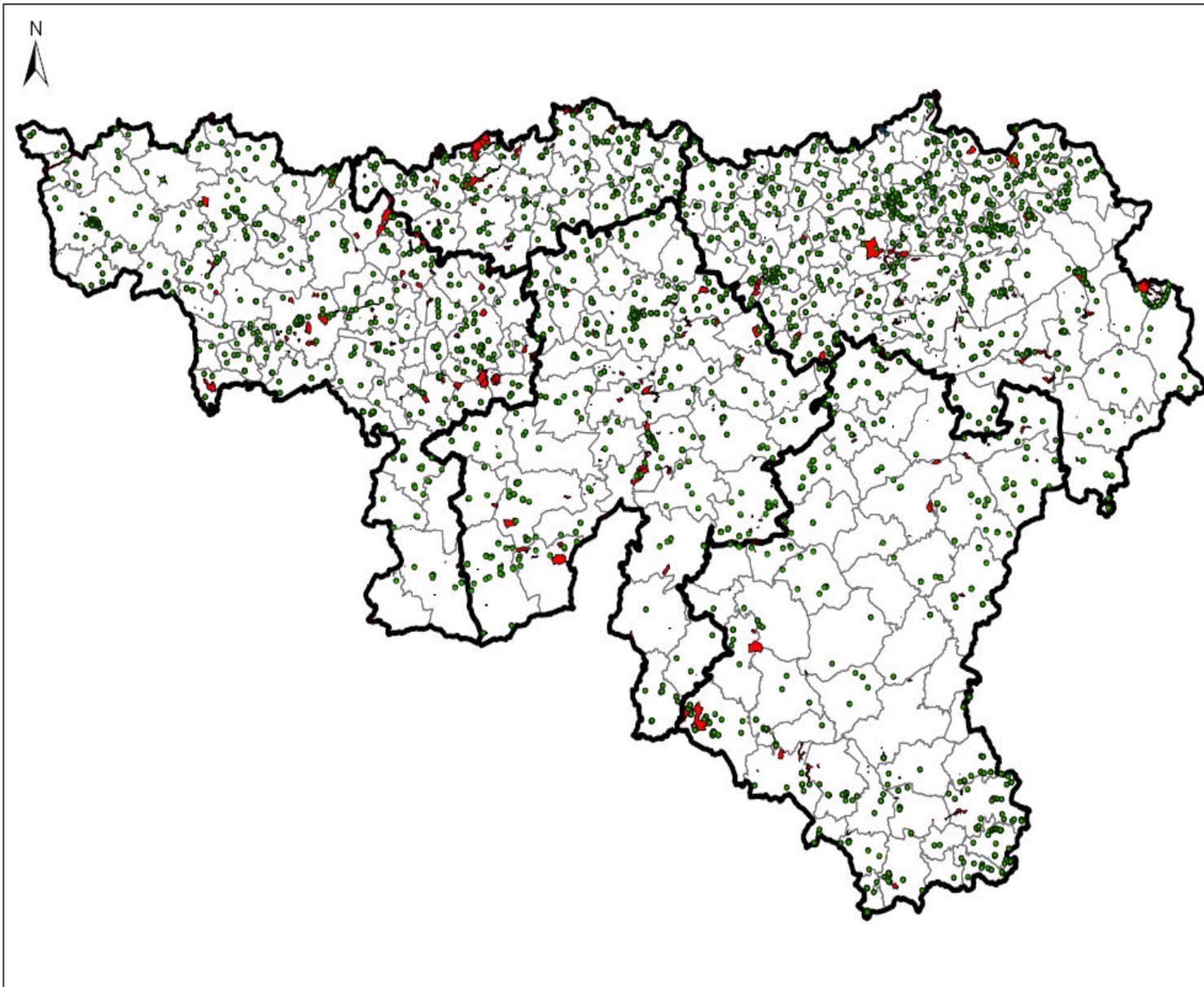
# Zones d'intérêt paysager et points de vue remarquables



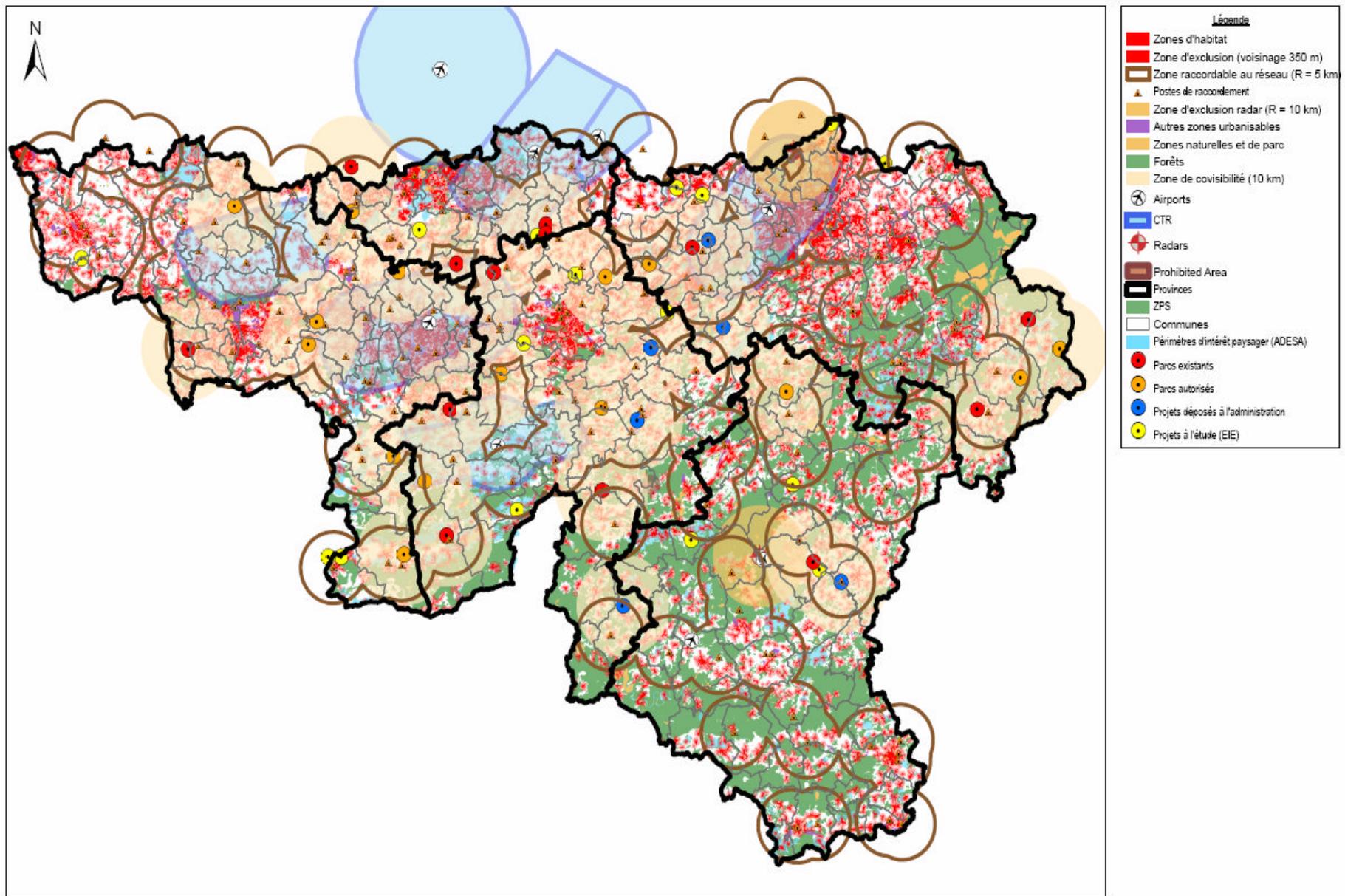
# Zones de Protection Spéciale de l'avifaune (ZPS)



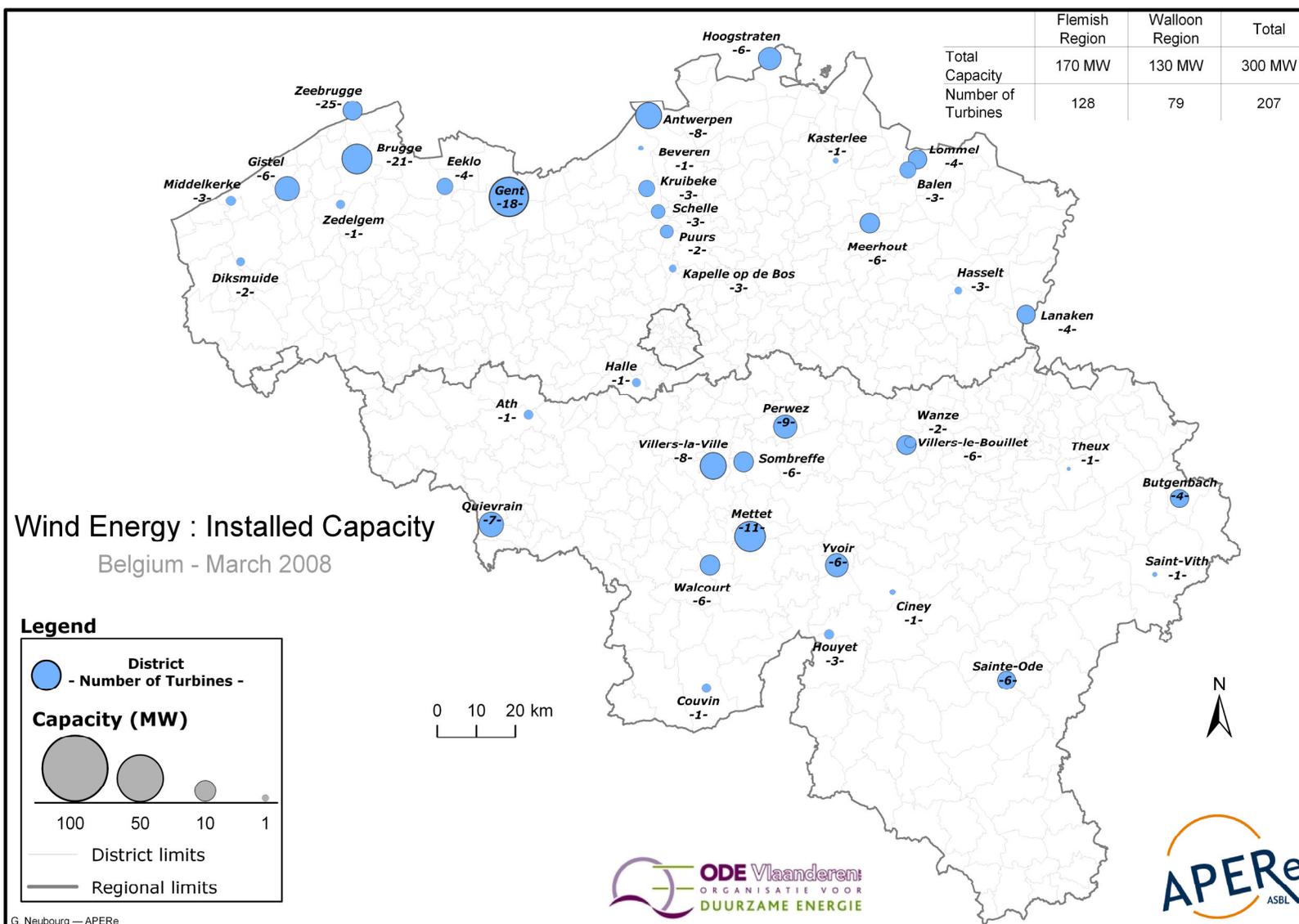
# Monuments et sites classés



# Carte du potentiel éolien wallon



# Etat actuel du développement éolien en Belgique





## Conclusion et perspectives

---

- Les éoliennes à axe horizontal constituent une technologie fiable arrivée à maturité
- Le système de CV mis en place en Wallonie a permis d'amorcer efficacement le développement de la filière
- La Wallonie manque aujourd'hui d'un plan directeur en matière d'implantation d'éoliennes :
  - traduisant de manière concrète et cohérente les objectifs fixés en matière de SER (traduction des objectifs européens à l'échelle régionale)
  - définissant des critères clairs en matière d'implantation de parcs éoliens de puissance
  - précisant les critères d'implantation d'éoliennes de puissance inférieure à 1.000 kW
- Des adaptations au niveau du réseau seront nécessaires en vue d'une production plus décentralisée de l'électricité par des éoliennes