



SUISSE EOLIE

# L'éolien en Suisse: le potentiel est là



27 mars 2014

1

## Contenu

- **Potentiel**
- **Conditions-cadre**
- **Exemples de sites**
- **Thèmes de recherche**
- **Défis**



27.03.2014

2

## Suisse: potentiel



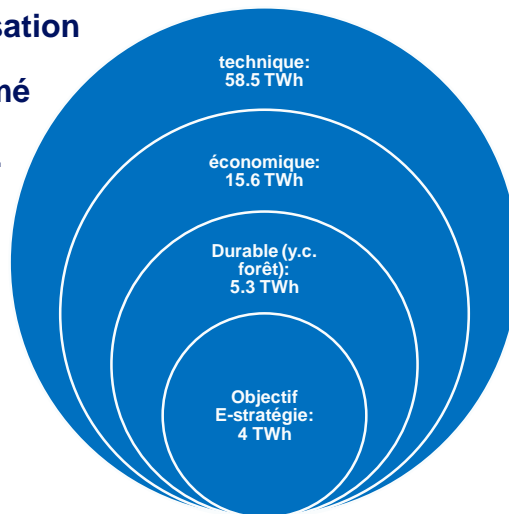
S U I S S E . E N E R G I E

### Potentiel estimé jusqu'ici pour 2050

Potentiel de réalisation

à long terme estimé

jusqu'ici: ~4 TWh.

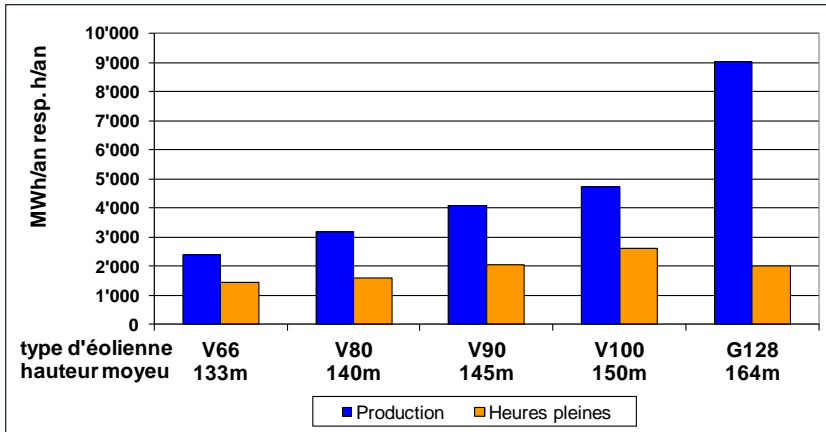




SUISSE ÉOLE

## Développement technologique:

La nouvelle génération d'éoliennes optimisées pour l'onshore font grimper le potentiel:



27.03.2014

5

## Une évolution discrète mais radicale

Données disponibles en ligne sur <http://www.wind-data.ch>

Production selon les conditions de vents pour une éolienne de 2,3 MW

5,5 m/s moyenne de vent

6.5 m/s moyenne de vent + 100 %

Fabricant	Enercon
Type	E-70
Puissance installée	2'310 kW
Diamètre du rotor	71 m
Production d'énergie	2'811'534 kWh/an
Facteur de capacité <sup>1</sup>	13.9%
Nombre d'heures de plein rendement <sup>2</sup>	1'216 h/an
Nombre d'heures d'opération <sup>3</sup>	8'263 h/an

Fabricant	Enercon
Type	E-92
Puissance installée	2'350 kW
Diamètre du rotor	92 m
Production d'énergie	5'876'421 kWh/an
Facteur de capacité <sup>1</sup>	28.5%
Nombre d'heures de plein rendement <sup>2</sup>	2'499 h/an
Nombre d'heures d'opération <sup>3</sup>	8'401 h/an

**Enercon E-70 (2310 kW)**

v = 5.5 m/s, A = 6.2 m/s, k = 2.0, densité = 1.12 kg/m<sup>3</sup>

**Enercon E-92 (2350 kW)**

v = 6.5 m/s, A = 7.3 m/s, k = 2.0, densité = 1.12 kg/m<sup>3</sup>

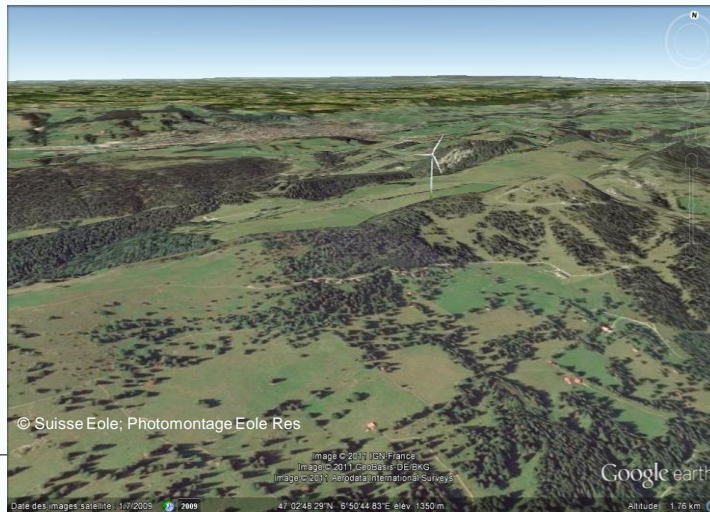
© Suisse Éole



SUISSE · EOLE

## Pour une très grande éolienne...

Exemple: pour la production d'une éolienne de 190 m  
(20'000'000 kWh/an) (consommation de 5000 ménages)



© Suisse Eole; Photomontage Eole Res

Image © 2011 IGN France  
Image © 2011 GeoBasis DE/BKG  
Image © 2011 Astrodigital International Surveys

Google earth

Date des images satellite: 1/7/2009 2009

47.0248 29°N, 6.5044 83°E élév. 1350m

Altitude: 1.76 km

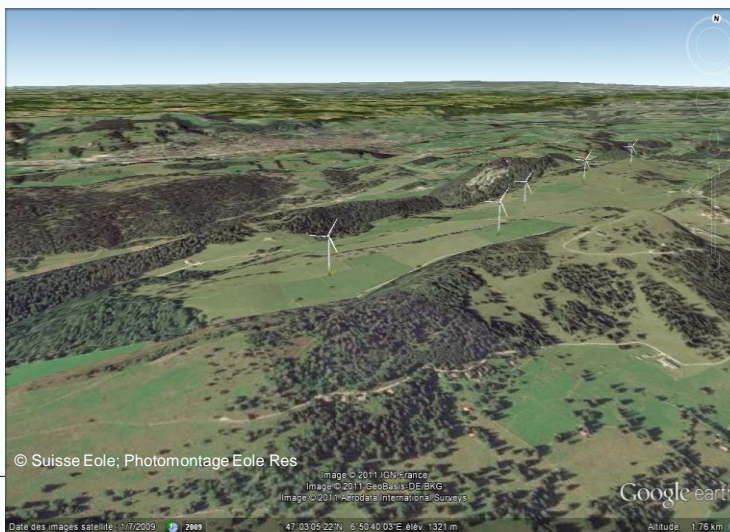
7



SUISSE · EOLE

## Il faut quelques grandes éoliennes...

Exemple : 5 grandes éoliennes de 2 MW (5 \* 4'000'000 kWh/an)...



© Suisse Eole; Photomontage Eole Res

Image © 2011 IGN France  
Image © 2011 GeoBasis DE/BKG  
Image © 2011 Astrodigital International Surveys

Google earth

Date des images satellite: 1/7/2009 2009

47.0305 22°N, 6.5040 03°E élév. 1321m

Altitude: 1.76 km

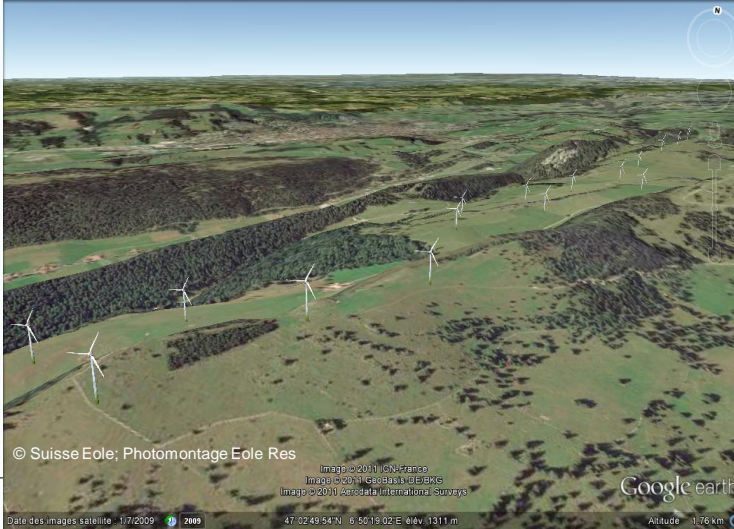
8



SUISSE ÉOLE

## Et beaucoup de petites grandes éoliennes...

Exemple: 16 éoliennes de 800 kW (16 \* 1 200 000 kWh/an)...



9



SUISSE ÉOLE

## Quant aux petites éoliennes...

Exemple: 70'000 éoliennes de 1.5 kW...



10





SUISSE ÉOLE

## Pour une perception différente

Les choix de tailles, de concentration doivent être évalués avec les acteurs locaux : la visibilité est un impact central



© Suisse Éole; Photomontage Éole Res

11



SUISSE ÉOLE

## Potentiel éolien: Nouvelles hypothèses

Le développement rapide de la technologie exige une réévaluation du potentiel de l'énergie éolienne

	Potentiel estimé avec technologie actuelle		Potentiel estimé avec évolution technologie	
	OFEN	SEO	OFEN	SEO
Hauteur de mât	145 m	150 m	176 m	164 / 184 m
Production	2 MW	3 MW	3 MW	4.5 MW
Hauteur totale	100 m	100 m	120 m	100 / 120 m
Diamètre du rotor	90 m	100 m	112 m	128 m
	<b>4 TWh</b>	<b>6 TWh</b>	<b>5.3 TWh</b>	<b>9-11 TWh</b>

12



## Comparaison



	Suisse	Rheinland-Pfalz (Rhinéanie-Palatinat)
Surface	41'285 km <sup>2</sup>	19'853 km <sup>2</sup>
Habitants	7.8 Mio	4.0 Mio
Fin 2011:		
- Nombre d'installations	30	1'177
- Production électrique annuelle	70 GWh	3'100 GWh
- % de la consommation	0.1%	9.4%
Objectifs:	D'ici 2050:	D'ici 2030
- Production électrique annuelle	4'000 GWh	14'800 GWh
- % de la consommation (2011)	7%	45%

27.03.2014

13

## Conditions-cadre des éoliennes en Suisse



14



## Des critères stricts, à partir notamment du concept national

Les critères suivants ont été adoptés pour sélectionner les sites potentiels :

**Hors des zones protégées :**

Marais, sites de reproduction des batraciens, zones alluviales, inventaire fédéral des paysages, inventaires des bas-marais, inventaire des sites construits à protéger, inventaire des districts francs, inventaires des sites marécageux, inventaire des prairies et pâturages secs, etc...

**Hors forêt, zones urbanisées et constructions habitées**

**Vitesse de vent moyenne supérieure à 4,5 m/s à la hauteur de moyeu**



## Nécessité de planifier

Les éoliennes qui ont une incidence importante sur le territoire (en règle générale, installations de plus de 30 m de hauteur totale), sont **assujetties à une obligation de planifier** au sens de l'art. 2 LAT (loi fédérale sur l'aménagement du territoire) et doivent, par conséquent, être traitées dans le plan directeur cantonal, puis dans un plan d'affectation.

L'application de la LAT est **du ressort des Cantons**.

**Le plan directeur** définit les principes de développement territorial (p.ex. zones industrielles, zones protégées, etc.)

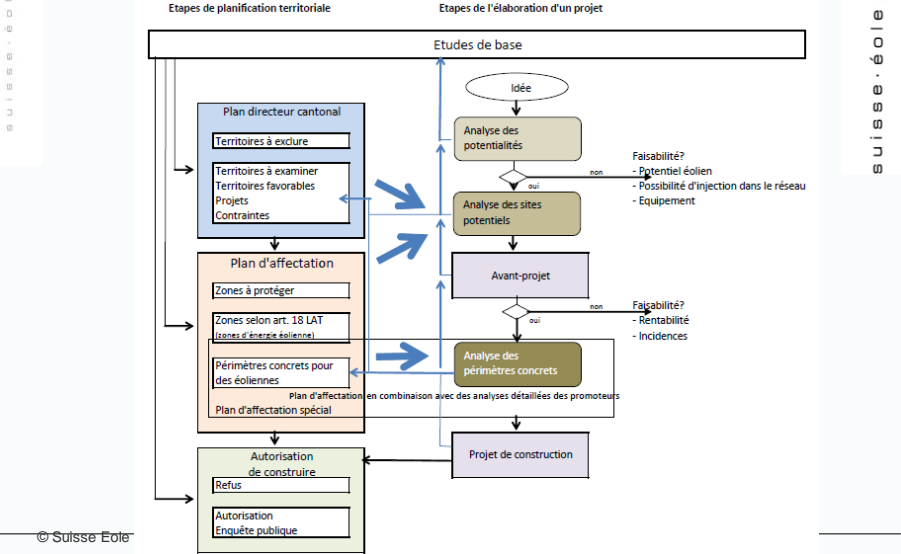
**Le plan d'affectation** est l'instrument qui permet, conformément aux objectifs du plan directeur, d'affecter une zone à une activité spécifique, p.ex. une zone de développement éolien.







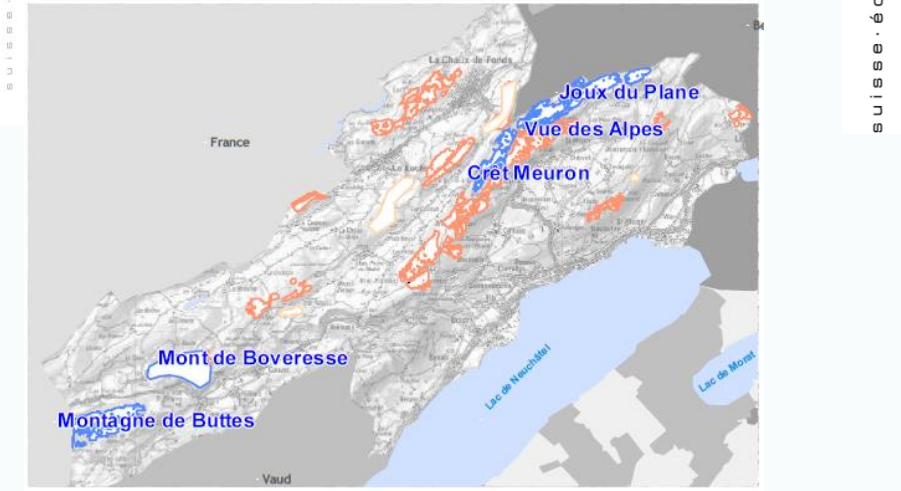
# Etapes de planification d'un projet éolien



# Le Concept cantonal d'énergie éolienne (2/4)



## Localisation des 14 sites adaptés (hors évaluation paysagère)

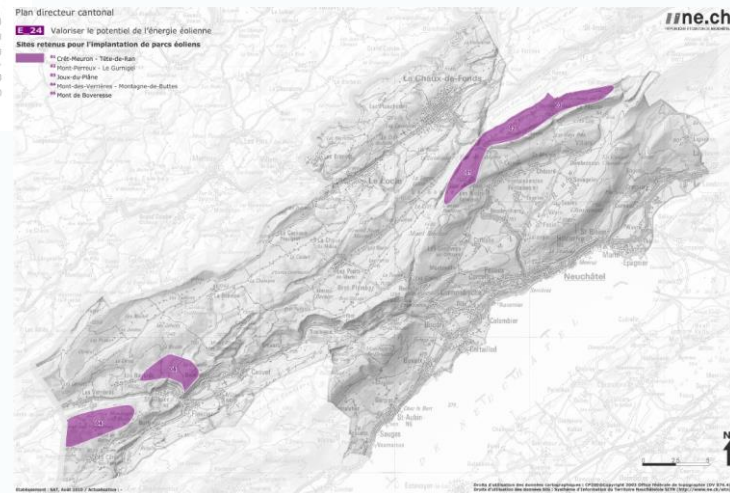




## Le Concept cantonal d'énergie éolienne (3/4)



### Les 5 sites restants après évaluation paysagère



SUISSE ÉOLE



## Le Concept cantonal d'énergie éolienne (4/4)



### Les 5 sites du concept cantonal totalisent :

- 59 éoliennes pour une production de 208 GWh/an,
- 20% de la consommation d'électricité du canton de Neuchâtel
- ou l'équivalent de la consommation de 57'000 ménages

Nom	Nb éoliennes potentielles	Potentiel production
		GWh
<b>Sites appropriés</b>		
1 Site du Crêt-Meuron, secteur 1.1	7	23
2 Site de La Montagne-de-Buttes	20	70
3 Site de La Vue-des-Alpes, secteur 4.4	10	40
4 Site de La Joux-du-Plâne	4	12
5 Site du Mont-de-Boveresse	18	63
<b>Total sites appropriés</b>	<b>59</b>	<b>208</b>

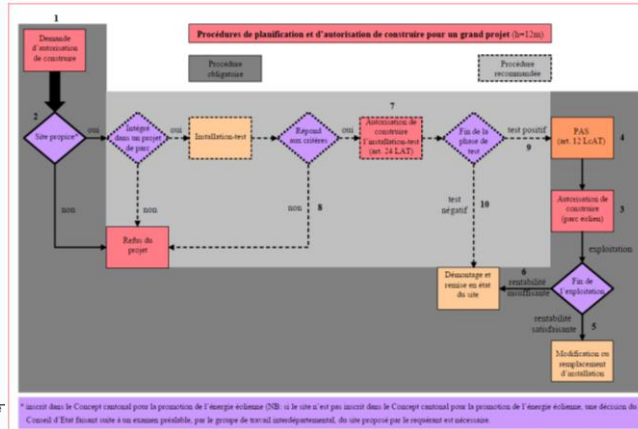


## Planification cantonale valaisanne

- Planification négative
- Seulement des sites pouvant produire 10 GWh/an
- Installation d'une éolienne test et évaluation après 1 année



SUISSE · ÉOLE

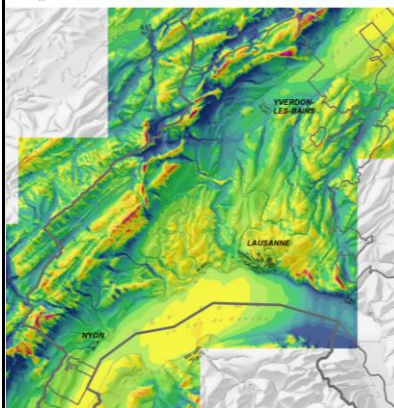


21

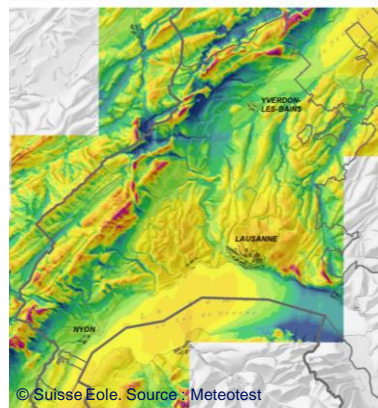
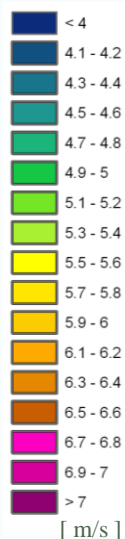


## L'exemple du canton de Vaud

### Vitesse de vent



à 100 m du sol



à 135 m du sol

© Suisse Éole. Source : Meteotest

22



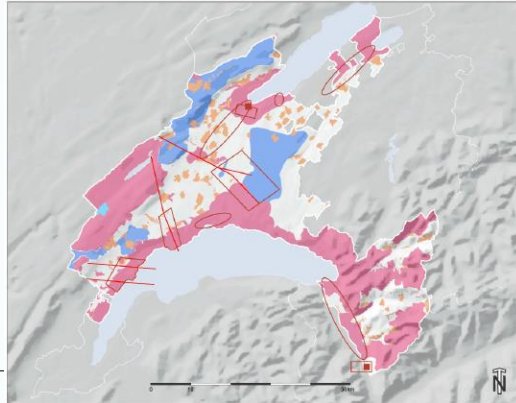
## Planification cantonale vaudoise

Intégré au plan directeur, fiche F51 - Ressources énergétiques et consommation rationnelle de l'énergie

- définition de secteurs d'exclusion (en rouge)
- définition de secteurs d'investigation (en bleu)



SUISSE ÉTOILE



© Suisse Étoile

23



SUISSE ÉTOILE

Canton de Vaud

## Critères d'évaluation

- **Vent (200 pts)**
  - vitesse moyenne annuelle du vent
  - qualité des mesures (durée, instruments utilisés, extrapolations, etc.)
  - évaluation par un bureau spécialiste (Météotest)
- **Paysage (100 pts)**
  - nouvelles dessertes
  - valeur des unités paysagères dans lesquelles le projet prend place
  - distance aux sites paysagers protégés (IFP, SM)
  - impact sur les points de vue emblématiques et les sites construits, dans un rayon de 5 et 10 km
  - évaluation par un bureau spécialiste (Hintermann & Weber)
- **Environnement (100 pts)**
  - proximité des habitations
  - présence de chiroptères ou d'espèces aviaires nicheuses sensibles ou d'exclusion (CCO; Sempach)

24



## Critères d'évaluation (2)

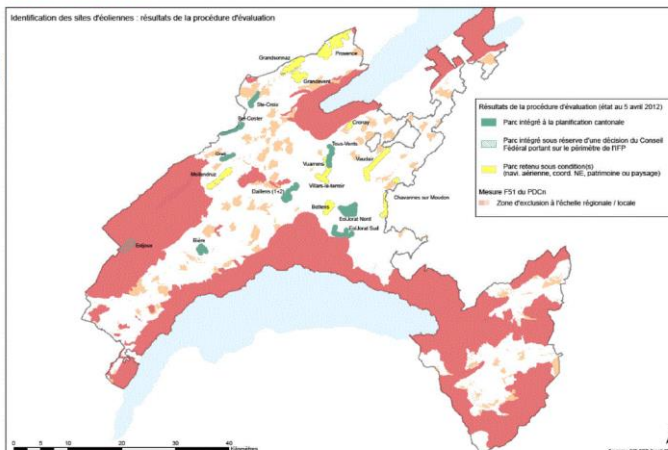
- **Radars**
  - interférence avec les radars météo (préavis MétéoSuisse)
  - interférence avec la navigation aérienne (préavis Skyguide, détermination de l'Office fédéral de l'aviation civile)
- **Raccordement au réseau d'électricité**
  - possibilités de raccordement et difficultés liées
- **Localisation**
  - implantation hors secteurs ou zones d'exclusion
- **Patrimoine**
  - impact sur le grand paysage et les sites construits de haute valeur
- **Acceptation locale**
  - engagements des communes et des propriétaires
- **Avancement**
  - avancement dans la procédure de planification



Potentiel pour couvrir 20% de la consommation !

## Résultats

Identification des sites d'éolienne - résultats de la procédure d'évaluation





SUISSE · ÉOLE

## Rétribution à prix coûtant

- **la rétribution est de 21.5 cts/kWh les 5 premières années puis décroît à 13.5 cts/kWh en fonction de la performance du site.**
  - La bonus alpin est réapparu en 2014
  - Une directive indiquera le mode de calcul pour le rendement de référence, pour déterminer la vitesse de décroissance à 13.5 cts.
  - Pour une installation correspondant au rendement de référence, la rétribution est de 21.5 cts pendant 15 ans, puis 13.5 centimes pendant les 5 dernières années.

© Suisse Éole

27



SUISSE · ÉOLE

## Suisse : exemples de sites







## Eoliennes en Suisse

SUISSE · 2013

Emplacement	Nb	Puissance [MW]	Remarque
Mont-Crosin BE	16	23.6	6 <sup>ème</sup> extension planifié
Gütsch UR	4	3.3	2 <sup>ème</sup> extension réalisée
Peuchapatte JU	3	6.9	
Collonges-Martigny VS	2	4.0	2 <sup>ème</sup> extension planifié
St. Brais JU	2	4.0	Nouveau projet planifié
Entlebuch LU	2	1.85	Nouveau projet planifié
Charrat VS	1	3,0	Parc éolien planifié
Haldenstein GR	1	3,0	
Griesspass VS	1	2.3	Parc éolien planifié
Grenchenberg SO	1	0.15	Parc éolien planifié

27.03.2014

29





## Collonges et Martigny



SUISSE · ÉOLIE



**Collonges:**  
2 MW, 4,9 GWh (2005)

**Martigny:**  
2 MW, 5,1 GWh (2008)

### Dépréciation immobilière : pas d'impact observé

#### Com mune de Dorénaz

	Habitants	Prix terrains m/2
2005	632	CHF 70.- à 80.-
2013	830	CHF 140.- à 180.-
<b>%</b>	<b>31.3 %</b>	<b>113 %</b>

#### Com mune de Collonges

	Habitants	Prix terrains m/2
2005	549	CHF 70.- à 80.-
2013	652	CHF 100.- à 160.-
<b>%</b>	<b>19 %</b>	<b>73 %</b>

Pro:Wind.ch

31



## Mont Crosin



SUISSE · ÉOLIE



32

## Les dernières éoliennes ont des équivalents productibles de 2000 heures

Analyse des données de production du Mont Crosin

Données disponibles en ligne sur <http://www.wind-data.ch>

Année	Production	Puissance	Productible équivalent
1998	2'490'000 kWh	2'460 kW	1012 h
2003	4'350'180 kWh	4'160 kW	1046 h
2006	9'176'106 kWh	7'660 kW	1198 h
2012	45'677'108 kWh	23'660 kW	1931 h

Preuve par les kWh du meilleur productible des éoliennes de dernière génération

Les dernières éoliennes du Mont Crosin sont bien à des fonctionnement équivalents à 2000 heures pleines !



SUISSE ÉOLIENNE

## L'énergie la plus facile à démanteler

Exemple : Démantèlement des éoliennes du Mont Crosin

- 1 journée par éolienne pour le démantèlement complet
- Coût du démontage = coût de revente de l'éolienne



SUISSE ÉOLIENNE

## Thèmes de recherche en Suisse



© Suisse Eole



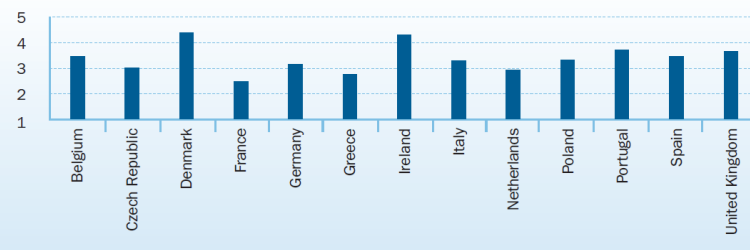
S U I S S E E O L E

Thème de l'acceptation des éoliennes

### Situation UE

Support des autorités locales en Europe

1: Negative - 5: Supportive



Quand le mix d'énergie éolienne est important, l'acceptation est meilleure.  
L'énergie éolienne gagne à être cotoyée !

Source EWEA 2010

Suisse Eole est partenaire de:



06.11.2013

36



Thème de l'acceptation des éoliennes

## Situation Suisse

- **Etude d'acceptation des projets**

*Etude OFEN UNI Zurich publiée*

Opinion moyenne de l'éolien 4,52 sur échelle de 1 à 7

- **Etude d'acceptation des parcs**

*Etude OFEN/OFEV acceptance Medical School Hamburg*

Seul 5,5 % d'opposants sur les sites Suisses

- **Conclusion**

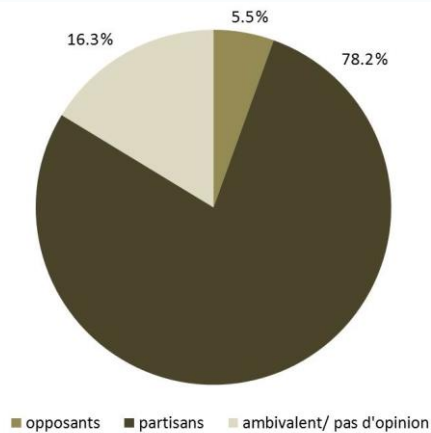
Acceptation mitigée dans les votations communales

En Suisse aussi, les éoliennes gagnent à être côtoyées

Suisse Eole est partenaire de:



## Attitude envers la construction des éoliennes locales



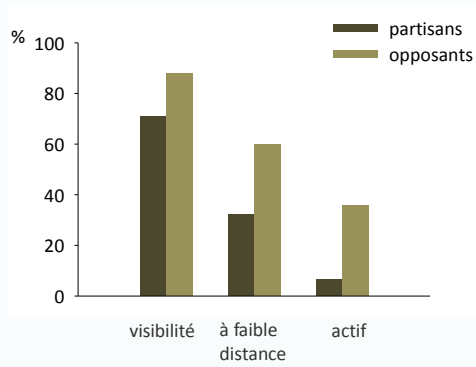
Suisse Eole est partenaire de:





SUISSE ÉOLE

## Caractéristique des opposants et des partisans



Suisse Éole est partenaire de:

39



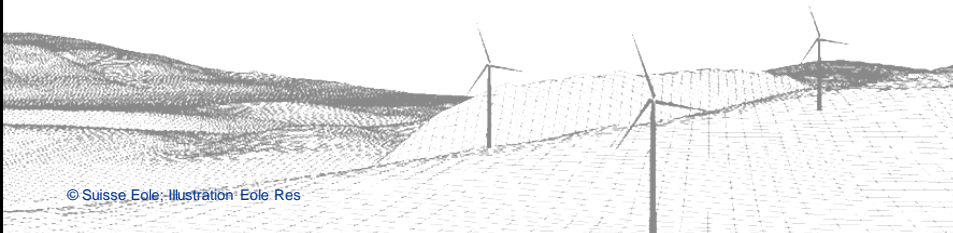
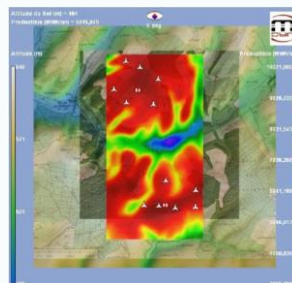
SUISSE ÉOLE

## Etude de la ressource éolienne

Mesure du vent pendant une année pour établir une corrélation statistique valable à long terme

Evaluation de la ressource locale (micro-siting) par simulation fondée sur les mesures de vent et la topographie du site

Calcul de la densité énergétique du site



© Suisse Éole - Illustration: Éole Res

qu'est-ce qui te branche?





## Etude de la ressource éolienne

### Mesure LIDAR (light detection and ranging)

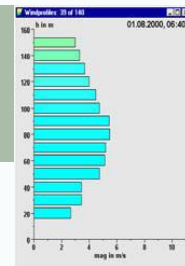
A la différence des appareils comme les anémomètres, qui ne mesurent le vent que localement, un LIDAR peut recueillir des données tridimensionnelles sur une vaste superficie. Très utile pour effectuer des mesures d'une grande exactitude dans des endroits où le vent change très rapidement.

Il envoie des rayons lumineux, qui réfléchissent les aérosols, ce qui permet de calculer la direction et la vitesse du vent.



### Mesure SODAR (Profil vertical du vent)

- Déductions pour la future hauteur de moyeu optimale de l'éolienne
- Analyse de la contrainte menaçant des composants de l'éolienne en cas de cisaillements du vent.



© Suisse Eole; Illustration Eole Res

41



## Autres études d'intégration locale (suite)

### Risque de givre

La formation du givre est liée à la présence d'une importante humidité de l'air et à une température qui se situe entre +1°C et -4°C. En dehors, il n'y a pas de formation de glace. À très basse température le taux d'humidité est trop faible pour engendrer la formation de givre.

1. Détection de la présence de givre, plusieurs solutions généralement combinées :

- Un détecteur spécifique
- Comparaison des valeurs mesurées par un anémomètre chauffé un anémomètre non chauffé
- Détection d'un niveau trop bas de puissance active produite, c'est-à-dire que si pour une vitesse donnée, la puissance fournie diffère trop de la puissance théorique, c'est que du givre perturbe le profil des pales : la machine s'arrête
- Détection de balourd des pales (en mesurant les vibrations transmis à la tour) : la machine s'arrête

2. Arrêt de l'éolienne

3. Mise en route du système de dégivrage

4. Redémarrage manuel après contrôle visuel des pales, si un système de dégivrage autonome est installé le redémarrage peut être automatique.

© Suisse Eole



42

## Etudes environnementales

### Etude d'Impact sur l'Environnement (EIE)

- Obligatoire pour les projets à partir de 5MW

#### Protection des oiseaux

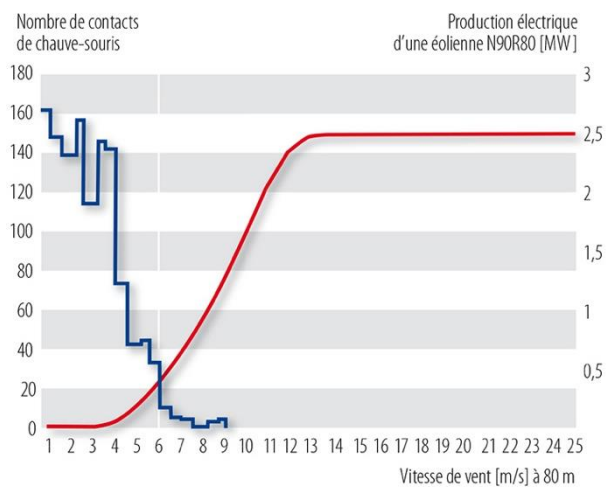
- Étude d'impact sur l'avifaune: Les zones de nidification, les couloirs migratoires et les zones fréquentées par des espèces protégées sont systématiquement évités.
- Mesures de régulation de l'éolienne possibles



#### Protection des chauves-souris

- les colonies, les couloirs migratoires et les terrains de chasse des chauves-souris sont pris en compte lors de l'implantation
- Mesures de régulation de l'éolienne possibles

## Etudes environnementales

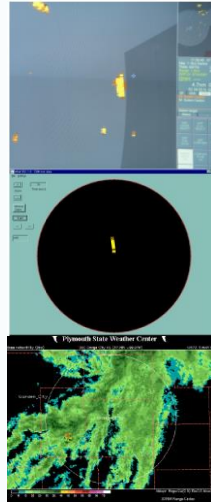




Thème des radars

## Exemples d'observations

- Effet de masque / perte de détection causés par la visibilité des éoliennes («trou(s)» dans la vision radar)
- Réflexions de l'onde sur les parties fixes
- Réflexions de l'onde sur les parties mobiles générant un faux écho variable



27.03.2014

45

Suisse Éole est partenaire de:



Thème des radars

## Liste des paramètres connus

- Acteur et rôle de l'utilisateur (eg: militaires, météo, aviation civile..)
- Fonction du radar (eg: défense, surveillance du trafic, mesure de vent etc..)
- Type de radar (primaire 2D ou 3D, secondaire, doppler, ..)
- Position de(s) l'éolienne(s) (angle éolienne-radar, position de la nacelle, angle des pales, répartition..)
- Nature du terrain (position /altitude de l'éolienne par rapport au radar,..)
- Nature de l'éolienne (eg: forme du mât, réflectivité et nature des matériaux, dimensions, forme de la nacelle, SER/RCS..)

27.03.2014

46

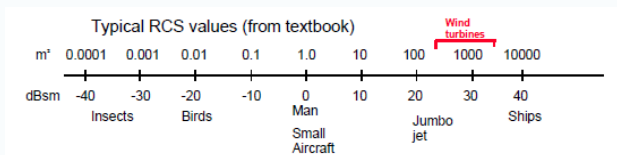
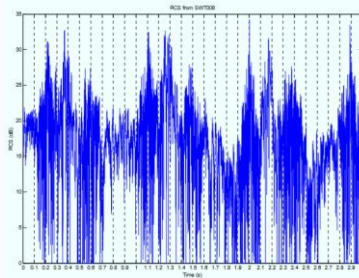
Suisse Éole est partenaire de:





Thème des radars

## La Surface Equivalente Radar



27.03.2014

47



Thème des radars

## Etat des solutions

- Qinetiq a développé un logiciel de simulation (WHIRL),
- L'installation de radars sur une ou plusieurs éoliennes en hauteur permettrait de couvrir une zone perturbée (eg: Verifeye, Qinetiq),
- Des solutions de filtres ont permis de régler des problèmes (eg: aéroport de Copenhague),
- Un conglomérat «RWE-EON-EDF-EN» a participé à l'amélioration de radars sur la côte Britannique (offshore),
- Les radars 3D (eg: type Lockheed Martin TPS-77s) permettraient de distinguer des éoliennes d'un avion.

Suisse Eole est partenaire de:

27.03.2014

48

## Défis de l'éolien en Suisse



### Danger des faux pro...

▣ **Tendance du « je suis pour l'éolien mais... »**

▣ **« le petit éolien »**

▣ Le petit éolien n'a pas le potentiel d'être un nouveau pilier énergétique pour sortir du nucléaire

▣ Le petit éolien n'a pas l'efficacité économique et la fiabilité du grand éolien

▣ **« à 1'500 mètres des habitations »**

En dehors des zones de protection paysagère exclues pour l'éolien, la densité d'habitat est importante en Suisse

Avec des mesures locales, des réalisations sont possibles et acceptées à proximité d'habitations en Suisse, comme à l'étranger

▣ **« à l'étranger »** Les conditions de vents et l'acceptation sont similaires aux sites Suisse

De nouvelles lignes en Suisse et à l'étranger seraient nécessaires

© Suisse Eole

50



## Danger des trop pro...

**Des processus que l'on ne peut pas simplifier:**

### **Des impacts**

Les parcs éoliens sont soumis à étude d'impact sur l'Environnement (EIE). Les impacts doivent être évalués, mesurables et réglés.

### **Un dialogue local**

Un site accepté résulte d'un processus ouvert, de négociation et d'acceptation locale

Les associations de l'environnement sont un interlocuteur important dans ce dialogue

### **Le respect de l'opposition**

Il n'y a pas de projet génial à la base

Les projets s'améliorent en intégrant les considérations locales réalistes

© Suisse Eole

51

