

Zeitschrift: Technique agricole Suisse
Herausgeber: Technique agricole Suisse
Band: 70 (2008)
Heft: 11

Artikel: Rentabilité des installations d'énergie éolienne dans les exploitations agricoles : vaut-il la peine d'investir?
Autor: Zumbühl, Thomas / Gazzarin, Christian / Rigassi, Reto
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1086106>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 05.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Rapports ART

Rentabilité des installations d'énergie éolienne dans les exploitations agricoles

Vaut-il la peine d'investir?

Thomas Zumbühl, Christian Gazzarin, Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen,
E-mail: christian.gazzarin@art.admin.ch

Reto Rigassi, Suisse Eole c/o Enco AG, Wattwerkstrasse 1, CH-4416 Bubendorf

Les installations d'énergie éolienne dans les exploitations agricoles permettent de réaliser des recettes régulières moyennant un surcroît de travail négligeable. L'investissement nécessaire à leur mise en place est cependant très élevé. Suite à la nouvelle rétribution du courant produit à partir de l'énergie éolienne, les exploitations agricoles doivent-elles investir dans des installations d'énergie éolienne? Pour répondre à cette question, un modèle a été établi afin de calculer la rentabilité de quatre installations modélisées. L'une d'elles est une petite installation éolienne de 6,5 kWp et les trois autres sont de grosses installations de 900, 1300 et 2000 kWp. Avec la rétribution actuelle

d'injection du courant, la petite installation éolienne n'est rentable sur aucun site. Endépitéd'un crédit d'investissement favorable de 200 000 francs, les grosses installations ne deviennent rentables qu'à partir d'un vent de force moyenne de 65 m/s. Or, dans les régions agricoles, on ne trouve quasiment aucun site de ce type. Du point de vue économique, le «courant éolien à la ferme» n'est pas un investissement rentable pour le moment. Seule une nette augmentation de la rétribution à l'injection ou l'achat de courant par des labels privés permettrait de compenser le prix élevé des installations et de rentabiliser le potentiel des sites existants.

Sommaire	Page
Problématique	2
Introduction	2
Vue d'ensemble et principes techniques	2
Hypothèses pour quatre installations modélisées	3
Hypothèses pour le calcul de rentabilité	4
Résultats	5
Conclusions	6
Bibliographie	7

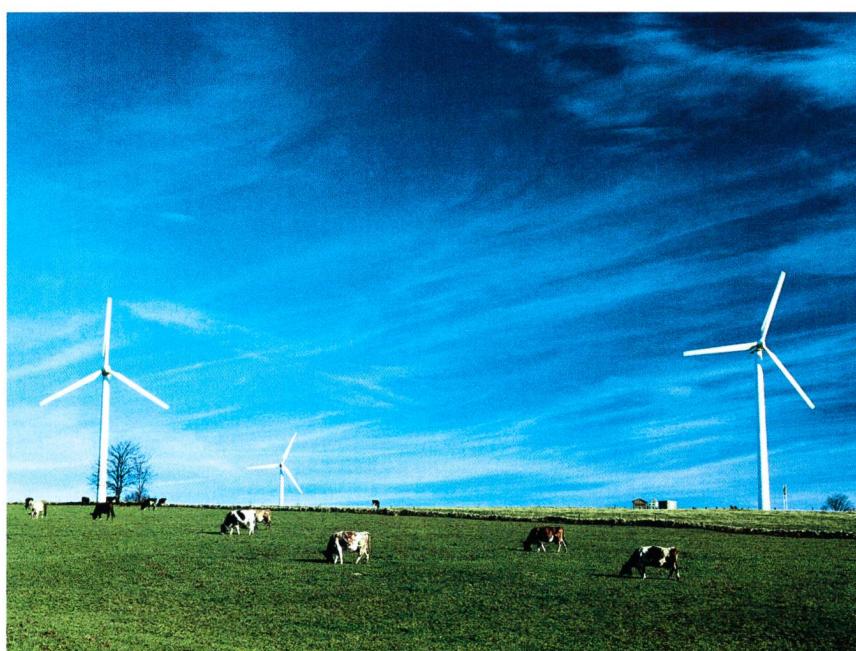


Fig. 1: Les éoliennes ne peuvent être rentables que sur les meilleures sites.

(Photo: Suisse Eole)

Problématique

La production d'énergie à partir de sources renouvelables suscite un intérêt de plus en plus vif dans l'agriculture. Selon l'objectif de la politique énergétique, qui est de promouvoir davantage les énergies renouvelables, des rétributions à l'injection sont garanties sur plusieurs années. Toutefois, la construction d'installations d'énergie éolienne est liée à d'importants investissements, suivant la taille et le site. C'est pourquoi même avec une rétribution d'injection garantie, de tels projets représentent un risque économique. Qu'en est-il de la rentabilité de ces installations et quel est l'influence du principal paramètre, le site, sur le résultat économique?

Introduction

Les mesures d'efficience énergétique et la promotion des énergies renouvelables feront partie des points forts de la politique énergétique suisse à l'avenir. L'ordonnance sur l'approvisionnement en électricité et la nouvelle ordonnance sur l'énergie ont posé des jalons politiques en introduisant des rétributions garanties à l'injection (OFEN 2007). Dans le domaine des énergies renouvelables, l'agriculture possède un gros potentiel. Il s'agit d'abord de l'exploitation énergétique de la biomasse. La rentabilité des installations de biogaz et des installations photovoltaïques a déjà été étudiée (Gubler et al. 2007; Gazzarin

et Zumbühl 2008). Le présent rapport ART souhaite étendre l'analyse aux installations d'énergie éolienne.

De par leur décentralisation, les exploitations agricoles présentent de bonnes conditions pour l'installation d'éoliennes. Contrairement au biogaz, l'exploitation de l'énergie éolienne n'engendre pas de véritable surcroît de travail. En outre, l'installation ne dégage pas non plus de chaleur, souvent difficile à recycler. C'est pourquoi ce mode de production d'énergie convient bien notamment pour les exploitations qui ont une charge de travail élevée ou qui disposent de peu de surfaces, caractéristiques qui correspondent à de nombreuses exploitations agricoles en Suisse. Les installations éoliennes offrent la possibilité de générer un revenu supplémentaire en développant une nouvelle branche d'exploitation qui ne demande pas beaucoup de travail.

également pendant la nuit et davantage en dehors de la saison d'été.

En Suisse, on compte actuellement (état, 1.5.2008) environ 12 installations d'énergie éolienne d'une puissance nominale de plus de 100 kW (Suisse Eole, 2007). Au total, cela représente une puissance installée de 11,25 MW, ce qui correspond à une puissance électrique installée moyenne de près de 1 MW. Il faut y ajouter cinq éoliennes d'une puissance comprise entre 10 et 100 kW et 14 éoliennes d'une puissance inférieure à 10 kW. La production totale de courant est d'environ 14 à 15 GWh/a et couvre les besoins en électricité de près de 4000 à 4300 ménages (Suisse Eole, 2007). Actuellement de nombreuses installations sont en projet, dont la puissance totale dépasse de loin celles des éoliennes en service. Le potentiel disponible est pourtant loin d'être totalement exploité et à l'avenir d'autres projets de parcs éoliens verront certainement le jour. Selon Energie Suisse, l'objectif est de produire 50 à 100 GWh d'électricité à partir de l'énergie éolienne d'ici 2010, ce qui représente environ la consommation de 15 000 à 30 000 ménages (Suisse Eole 2007). Selon Suisse Eole, l'Association pour la promotion de l'énergie éolienne en Suisse, le potentiel s'élève à 600 GWh jusqu'en 2025, ce qui équivaut à la consommation de près de 170 000 ménages. La tendance est aux éoliennes de grande taille, partout dans le monde. Les parcs éoliens existants sont agrandis par «Repowering», ce qui signifie que les installations existantes sont remplacées par des installations plus performantes.

Vue d'ensemble et principes techniques

Une installation d'énergie éolienne capte l'énergie cinétique contenue dans les flux de masses d'air et les transforme en énergie électrique. L'énergie cinétique du vent agit sur les pales du rotor et les fait tourner. L'énergie de rotation est absorbée par un générateur qui la transforme en énergie électrique. Cette dernière sera ensuite injectée dans le réseau électrique. Tandis que les installations photovoltaïques produisent du courant pendant la journée et essentiellement pendant les mois d'été, les installations d'énergie éolienne produisent

Puissance et taille en développement

Au cours des 25 dernières années, les éoliennes produites en série ont connu une croissance énorme. En 1983, le diamètre du rotor d'une installation typique était de 15 m et la puissance nominale du générateur de 55 kW, en 2005, il existait déjà des modèles produits en série avec un diamètre de rotor de 90 m et une puissance nominale de 2,5 MW. Les plus grandes éoliennes en service aujourd'hui possèdent une puissance nominale allant jusqu'à 6 MW et un rotor d'un diamètre pouvant aller jusqu'à 125 m. Les installations d'une puissance de 2 MW peuvent être considérées comme standard aujourd'hui. La plus grosse éolienne en service en Suisse se situe à Collonges. Elle est exploitée par RhôneEole SA. Sa puissance nominale est de 2 MW et le diamètre de son rotor de 71 m.

Abréviations et glossaire

CB	Crédit bancaire (en général hypothèque)
CI	Crédit d'investissement (sans intérêt)
IEO	Installation d'énergie éolienne
kWh	Kilowatt heure
kWp	Kilowatt-Peak ou kilowatt crête, puissance nominale
MWp	Megawatt-Peak ou megawatt crête
Paramètre de forme Weibull	La distribution de Weibull montre comment le vent souffle sur un site pendant une durée donnée. Le paramètre de forme indique la forme de la distribution statistique représentée par une courbe.
Longueur de rugosité	Valeur en mètre qui indique la hauteur au-dessus du sol où la vitesse du vent est égale à zéro en théorie. Décrit l'influence du profil de la surface d'un paysage sur le vent.
Classe de rugosité	La classe de rugosité est définie sur la base de la longueur de rugosité. p. ex. longueur de rugosité = 0,1 m correspond à la classe de rugosité = 2 (Terrain agricole avec quelques maisons et des haies de 8 m de haut situées à environ 500 mètres les unes des autres).
Vitesse moyenne du vent	Vitesse du vent sur un site en moyenne.

Installations pour vents faibles

Une entreprise suisse développe des installations pour vents faibles, spécialement conçues pour utiliser les vents faibles et variables. Grâce à une hauteur de mât de 18 m et à un diamètre du rotor de 12,8 m, elles s'intègrent plus facilement dans le paysage que les installations traditionnelles pour vents forts. En tant que représentante de ce groupe, l'installation pour vents faibles Aventa AV-7 a une puissance nominale de 6,5 kW et produit déjà de l'énergie électrique avec des vents d'une vitesse de 2 m/s. Ce type d'installations convient pour les sites où la vitesse de vent moyenne maximale est de 4,5 m/s.

Les installations pour vents faibles ne peuvent pas être directement comparées aux installations pour vents forts. Elles sont plutôt un complément ou une alternative aux capteurs solaires. Leur puissance est nettement plus faible, mais leur utilisation plus large. En effet, elles peuvent également être installées sur des sites où la mise en place d'une éo-



Fig. 2: Eolienne avec nacelle ouverte (cf. annexe; source: www.stromonline.ch).



Fig. 3: Montage de l'installation avec deux grues. Un site adapté est notamment un site auquel on peut accéder avec de lourds engins de transport, très longs.
(Photo: Bundesverband Windenergie, Allemagne)

Tab. 1: Hypothèses techniques

Type WKA	WKA-1	WKA-2	WKA-3	Aventa AV-7
Hauteur du moyeu (m)	60	80	100	18
Diamètre du rotor (m)	52	62	76	12,8
Puissance nominale (kWp)	900	1300	2000	6,5
Surface du rotor (m ²)	2124	3019	4536	129
Durée d'exploitation (années)	20	20	20	20

lienne pour vents forts n'aurait aucun sens étant donnée la vitesse réduite des vents. Elles perturbent moins l'environnement, car leur taille est plus réduite et car elles sont peu bruyantes. Si l'on considère la quantité de courant produite, le préjudice causé à l'environnement est cependant nettement plus important par rapport aux installations pour vents forts. Si de telles éoliennes sont installées dans des exploitations agricoles sur des sites appropriés, elles peuvent éventuellement jouer un rôle publicitaire et avoir un effet positif sur l'image de l'agriculture, d'où un impact plus large.

Eléments et montage d'une installation d'énergie éolienne

Une éolienne est fixée au sol par un socle solide, afin d'assurer la stabilité nécessaire. Une tour en acier est placée sur le socle. Au sommet de la tour se trouve la nacelle orientable avec le générateur, l'arbre d'entraînement, la girouette et le système de commande (fig. 2). Sur le moyeu se trouvent en général trois pales de rotor qui assurent l'entraînement nécessaire. Il faut encore ajouter les systèmes de contrôle, de commande et de réglage qui veillent au fonctionnement de l'ensemble. Le courant produit est ensuite conduit à travers un transformateur qui se trouve, suivant la technique de raccordement au réseau, dans la nacelle, dans le mât ou à l'extérieur au sol dans un local technique, avant d'être injecté dans le réseau électrique. Sur les sites décentralisés, il est recommandé de tenir compte de l'accès pour les véhicules de transport qui peut, suivant la taille de l'installation, causer de plus ou moins gros problèmes (fig. 3). D'autres indications techniques figurent en annexe.

Hypothèses pour quatre installations modélisées

Taille des installations et hypothèses techniques

Pour les calculs de rentabilité, quatre installations modélisées différentes ont été étudiées – trois éoliennes pour vents forts avec une puissance électrique installée de 900 kW, 1,3 MW et 2 MW et une éolienne pour vent faible avec 6,5 kW (tab. 1).

Il n'est pas très intéressant de comparer directement l'éolienne pour vents faibles avec les grosses éoliennes, car il n'est pas possible de tenir compte de la conception différente des installations par rapport aux conditions de vent et par rapport au rôle joué en terme de publicité ou d'image. Comme ce concept jouit cependant d'une certaine popularité, il a toutefois été pris en considération dans l'étude.

Les hypothèses concernant les éoliennes pour vents faibles proviennent des informations actuelles de la société Aventa SA.

Rendements du courant éolien

Pour calculer le rendement attendu en courant des quatre éoliennes, on a utilisé le programme de calcul de la puissance produite par une éolienne présenté sur le site de la Danish Wind Industry Association (www.windpower.org). Le calculateur de puissance contient déjà des courbes de puissance prédéfinies et les données de différentes installations que l'on peut modifier à volonté. Pour les trois éoliennes pour vents forts, on a adapté des données figurant déjà dans le calculateur de puissance (tab. 2). Comme aucune installation ne correspondait à l'éolienne pour vents faibles, un profil défini a été établi à partir des données du fabricant (tab. 3). On considère que l'altitude de tous les sites et de tous les cas est de 1000 m. Les trois éoliennes pour vents forts ont été étudiées par rapport à un site de référence,

tel qu'il a été défini dans les explications relatives à l'ordonnance sur l'approvisionnement en électricité (OFEN 2008). Il s'agit d'un site où la vitesse moyenne du vent est de 4,55 m/s à 50 m du sol affichant un paramètre de forme Weibull $k = 2$, une longueur de rugosité de 0,1 et une classe de rugosité de 2 (cf. glossaire). La figure 4 présente une carte des forces moyennes des vents en Suisse à 50 m du sol. Les sites favorables en terme de vent se limitent aux zones d'altitude de l'espace alpin, au Jura et aux collines situées au sud-ouest de Lucerne. La production de courant éolien dans les exploitations agricoles ne devrait donc être rentable que dans les deux dernières régions.

Une variante supplémentaire a été calculée pour l'éolienne pour vents faibles avec une vitesse du vent à hauteur du moyeu (18 m) au lieu de 50 m au-dessus du sol. Si l'on admet que la vitesse moyenne du vent sur le site est atteinte à hauteur du moyeu, ce qui suppose un vent plus fort, les rendements augmentent considérablement.

Hypothèses pour le calcul de rentabilité

Recettes

Les recettes de la vente du courant correspondent au produit de la quantité de courant vendu (kWh) et du prix du courant par kWh. Le prix du courant par kWh dépend de la rétribution à l'injection selon l'ordonnance sur l'approvisionnement en électricité (OApEl, RS 734.71) du 1.4.2008. Les règlements varient pour les petites et les grandes éoliennes. Pour les petites éoliennes, la rétribution est de 20 cts./kWh pour 20 ans. Pour les grosses éoliennes, une rétribution de 20 cts./kWh est également prévue, mais pour les cinq premières années. Par la suite, la rétribution dépend de deux facteurs d'influence, la production effective de courant de l'installation et le rendement de référence. Le rendement de référence est basé sur le site de référence (OFEN 2008). Si l'installation produit plus de 150 % du rendement de référence, la rétribution est abaissée à 17 cts./kWh à partir de la 6ème année. Si l'installation n'atteint pas les 150 % du rendement de référence, elle continue à toucher 20 cts./kWh, sachant que cette disposition n'est valable que pour une durée limitée. La durée est calculée de la façon suivante: on compte deux mois par tranche de 0,75 % de l'écart entre le rendement effectif et 150 % du rendement de référence. Après cette période, la rétribution passe à 17 cts./kWh pour le reste des 20 années. Voici un exemple qui permettra de mieux comprendre comment sont calculées les recettes des grosses éoliennes: le rendement effectif de courant d'une installation pendant les cinq premières années est de 1 million de kWh/a, tandis que le rendement de référence correspondant est de 0,8 million kWh/a. 150 % du rendement de référence représente donc 1,2 millions de kWh/a. Par conséquent, l'installation considérée atteint un pourcentage de 83,3 %, ce qui veut dire qu'il lui manque 16,7 % pour parvenir à 150 % du rendement de référence. Ces 16,7 % sont ensuite divisés par 0,75 % et multipliés par deux mois, ce qui donne 46,7 mois. Pendant cette période, l'installation bénéficiera d'une rétribution de 20 cts./kWh. Ensuite, la rétribution passera à 17 cts./kWh.

Tab. 2: Rendements en électricité attendus dans les installations pour vents forts (en kWh par an)

Cas 1	WKA-1	WKA-2	WKA-3
Puissance du vent sur site (m/s)	Rendement attendu (kWh/a)	Rendement attendu (kWh/a)	Rendement attendu (kWh/a)
4	539 878	899 816	1 431 598
4,5	781 893	1 270 328	2 028 097
5	1 042 524	1 693 771	2 743 896
5,5	1 340 388	2 143 679	3 499 461
6	1 638 252	2 620 052	4 255 027
6,6	1 954 732	3 069 960	5 010 592
7	2 252 596	3 546 333	5 726 391

Tab. 3: Rendements attendus dans l'installation pour vents faibles

Site (m/s)	Cas 1a (18 m): Rendement (kWh/a)	Cas 1b (50 m): Rendement (kWh/a)
2,5	5640	3384
3	9024	5640
3,5	13 536	9024
4	16 920	12 408
4,5	21 432	15 792
5	24 816	19 176

Tab. 4: Investissements pris comme hypothèses dans les installations modélisées

Type WKA	WKA-1	WKA-2	WKA-3	Aventa AV-7
Investissement total 2008 (CHF)	2 362 500	3 400 000	5 500 000	140 000
Investissement par kWp (CHF/kWp)	2625	2615	2750	21 538

ment effectif et 150 % du rendement de référence. Après cette période, la rétribution passe à 17 cts./kWh pour le reste des 20 années. Voici un exemple qui permettra de mieux comprendre comment sont calculées les recettes des grosses éoliennes: le rendement effectif de courant d'une installation pendant les cinq premières années est de 1 million de kWh/a, tandis que le rendement de référence correspondant est de 0,8 million kWh/a. 150 % du rendement de référence représente donc 1,2 millions de kWh/a. Par conséquent, l'installation considérée atteint un pourcentage de 83,3 %, ce qui veut dire qu'il lui manque 16,7 % pour parvenir à 150 % du rendement de référence. Ces 16,7 % sont ensuite divisés par 0,75 % et multipliés par deux mois, ce qui donne 46,7 mois. Pendant cette période, l'installation bénéficiera d'une rétribution de 20 cts./kWh. Ensuite, la rétribution passera à 17 cts./kWh.

Il est donc possible de calculer la rétribution moyenne pour une durée d'exploitation de 20 ans. Pendant les 5 premières années (60

mois) ainsi que pendant les 46,7 mois calculés, soit au total pendant 106,7 mois, l'installation perçoit 20 cts./kWh.

Pour obtenir la durée restante, il suffit de soustraire les 106,7 mois des 20 années (240 mois).

$$\frac{(106,7 \text{ mois} \times 20 \text{ cts.}) + (133,3 \text{ mois} \times 17 \text{ cts.})}{240 \text{ mois}} = 18,3 \text{ cts.}$$

Investissement

Suivant l'installation, les investissements sont compris entre 140 000 et 5,5 millions de francs (tab. 4). Cette somme prend en compte l'installation proprement dite (tour, nacelle, générateur, mât, etc.), le socle, les travaux d'accès, le raccordement au réseau et la planification. Suivant les conditions du site, les investissements peuvent varier considérablement pour le socle, les travaux d'accès et le raccordement au réseau. Pour le calcul des modèles, on s'est basé sur des conditions plutôt favorables. Il faut savoir qu' étant donné la forte croissance de la de-

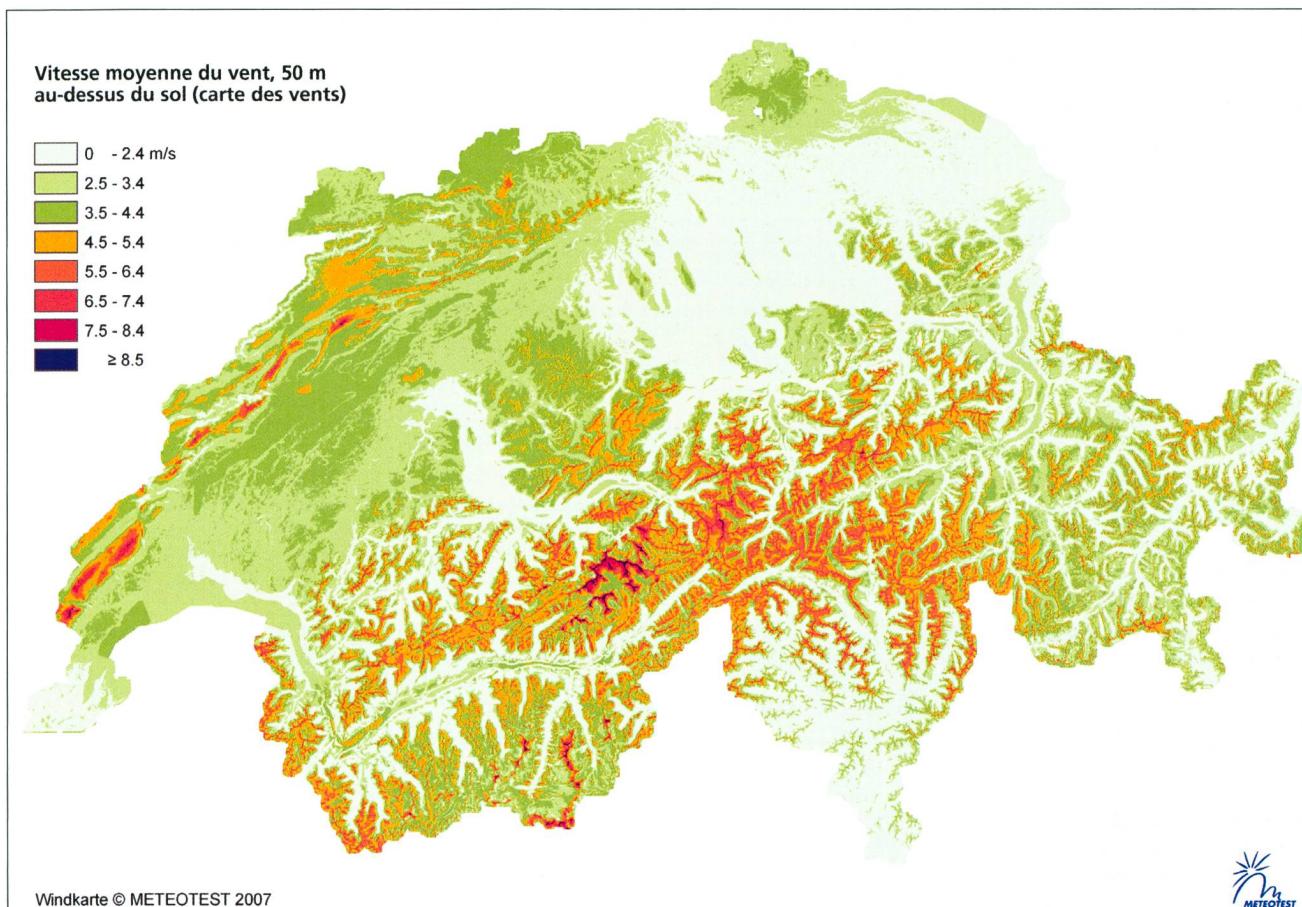


Fig. 4: Forces des vents en Suisse (Source: Meteotest 2007, Berne).

mande et de la hausse du prix des matières premières, les investissements pour les installations WKA-1 à WKA-3 ont largement augmenté depuis 2005. Jusqu'à la mise en exploitation, un projet WKA demande jusqu'à cinq ans suivant le site et les conditions, voire plus encore, ce qui est dû notamment aux mesures du vent et aux délais de livraison de plus en plus longs. C'est pourquoi on a établi des hypothèses à moyen terme et adapté les coûts.

Amortissements, coûts du capital, maintenance

On a considéré que la durée de vie des composants de l'installation était homogène et fixé une période de 20 ans pour les amortissements.

Le financement repose sur une part de 20 % de capitaux propres avec un taux d'intérêt de 3 %, ce qui correspond approximativement au taux d'intérêt des obligations fédérales pour une durée de 10 ans (3,03 %, état mars 2008). L'hypothèse comprend également un crédit d'investissement (CI) sans intérêt d'un montant maximal de CHF 200 000 ou équivalent au

maximum à 50 % de l'investissement total. La somme restante est financée par un crédit bancaire (CB) avec un taux d'intérêt moyen de 5 %. Les coûts d'exploitation et de maintenance annuels sont estimés en moyenne à 5,7 % de l'investissement total (Rigassi 2005). Il est tout à fait possible d'effectuer une partie des travaux par soi-même pour l'entretien et la maintenance, mais ces prestations n'ont pas été prises en compte ici.

Résultats économiques

La rentabilité se mesure à l'aide des quatre résultats économiques suivants:

1. Les bénéfices ou pertes calculées constituent la différence entre les recettes et les coûts totaux. Des bénéfices représentent un dédommagement pour le management et les risques.
2. La rentabilité du capital total ou le rendement du capital (correspond approximativement au «Return on Investment», ROI) est une valeur permettant de mesurer la rentabilité d'un investissement en mettant les bénéfices ou les pertes en rapport avec le capital investi. Les coûts
- des intérêts sont soustraits des coûts totaux, pour les capitaux empruntés comme pour les capitaux propres. La différence par rapport aux recettes totales est ensuite divisée par la somme investie. Il faut savoir que les crédits d'investissement éventuels font certes partie du capital investi, mais sont sans intérêt.
3. La rentabilité des capitaux propres ou rendement des capitaux propres représente les bénéfices ou les pertes par rapport aux capitaux propres investis. Les coûts des intérêts des capitaux propres sont soustraits des coûts totaux (intérêts calculés). La différence par rapport aux recettes totales est ensuite divisée par les capitaux propres investis. La rentabilité des capitaux propres peut être comparée à celle de placements alternatifs. Un taux d'intérêt de 3 % pour une durée d'amortissement de 20 ans est considéré comme atteint lorsque le rendement des capitaux propres est d'au moins 1,72 % (taux d'intérêts moyen des capitaux immobilisés).
4. Les coûts de revient du courant (cts./ kWh) se calculent en divisant les coûts totaux par la quantité de courant produite. Il s'agit du point de break-even ou de

seuil de bénéfices, c'est-à-dire du prix du courant nécessaire pour pouvoir couvrir les coûts (bénéfices = 0). Cette valeur est utile pour comparer avec les autres procédés de production de courant.

Résultats

Le tableau 5 présente les résultats pour une vitesse moyenne du vent de 55 m/s à 50 m au-dessus du sol. Selon la carte générale (fig. 4), il existe tout de même quelques sites intéressants pour l'agriculture qui présentent de tels vents, notamment dans la région du Jura et dans les zones des collines au sud-ouest de Lucerne. Les résultats indiquent néanmoins des pertes pour toutes les installations. Pour les éoliennes pour vents forts, les amortissements et le coût des intérêts représentent 57 % des coûts totaux, tandis que les coûts d'exploitation en représentent 43 %. Ces chiffres n'ont pas pris en compte les prestations propres de l'agriculteur, comme nous l'avons déjà mentionné. En ce qui concerne l'éolienne pour vents faibles, les coûts d'exploitation représentent 8 % des coûts totaux, ce qui nettement inférieur. Les coûts de revient reflètent le prix du courant qui serait nécessaire pour couvrir les coûts pour un vent de force moyenne de 55 m/s. Ils s'élèvent à 27–30 centimes pour les éoliennes pour vents forts et à 51 centimes pour l'installation pour vents faibles, ce qui est nettement au-dessus des tarifs de la rétribution d'injection. La figure 5 montre l'évolution des bénéfices ou des pertes en fonction de la vitesse moyenne du vent. Quelle que soit la vitesse du vent, l'éolienne pour vents faibles n'est pas rentable si on se base sur la rétribution d'injection actuelle de 20 cts./kWh. Elle enregistre des pertes annuelles comprises entre 5000 et 10 000 francs. Les grandes éoliennes n'atteignent la zone de bénéfices qu'à partir d'une vitesse moyenne du vent à peine au-dessus ou au-dessous de 65 m/s.

Le tableau 6 présente, lui, la rentabilité des grandes éoliennes. Là encore, les installations ne commencent à devenir rentables qu'à partir d'une vitesse moyenne du vent de 65 m/s. Si l'on regarde la carte (fig.4), on constate qu'en Suisse, la production de courant éolien n'est donc rentable que sur un nombre extrêmement réduit de sites (régions en orange foncé – rouge).

Tab. 5: Recettes, coûts et bénéfices pour une vitesse moyenne du vent de 55 m/s à 50 m au-dessus du sol

Type WKA	WKA-1	WKA-2	WKA-3	Aventa AV-7
Recettes	190840	310054	500492	3835
Coûts	311352	451015	733733	9865
Bénéfices / Pertes	-120512	-140961	-233241	-6030
Coûts de revient en centimes	29,9	26,6	26,7	51,4

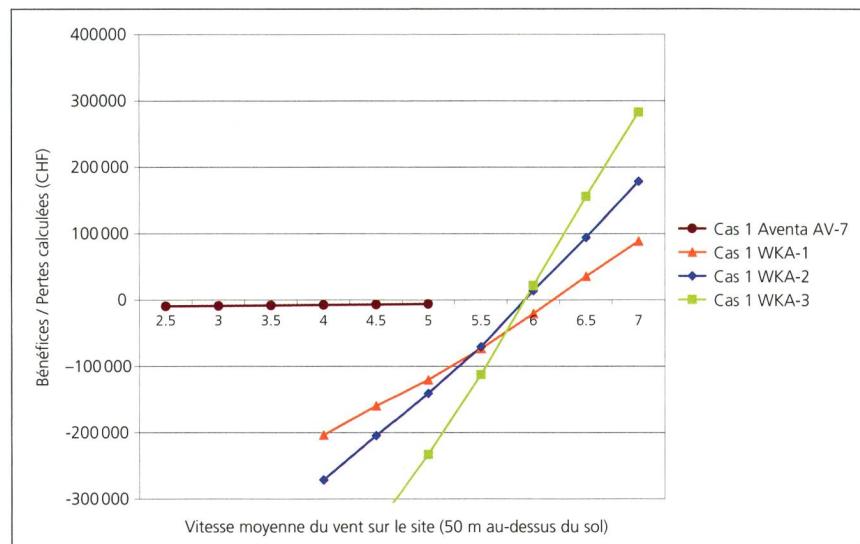


Fig. 5: Bénéfices / Pertes en fonction des différentes vitesses du vent.

Tab. 6: Rentabilité des grandes éoliennes en fonction de la vitesse moyenne du vent

Rendement du capital (capital total)	WKA-1	WKA-2	WKA-3
45 m/s	-6,1 %	-5,4 %	-5,5 %
4,55 m/s	-4,3 %	-3,4 %	-3,5 %
55 m/s	-2,6 %	-1,6 %	-1,6 %
5,55 m/s	-0,6 %	0,5 %	0,6 %
65 m/s	1,6 %	3 %	3 %
6,55 m/s	4 %	5,3 %	5,5 %
75 m/s	6,2 %	7,8 %	7,8 %
Rendement des capitaux propres			
45 m/s	-41 %	-38 %	-39 %
4,55 m/s	-32 %	-28 %	-29 %
55 m/s	-24 %	-19 %	-19 %
5,55 m/s	-14 %	-9 %	-9 %
65 m/s	-2,6 %	3,8 %	3,7 %
6,55 m/s	9,3 %	15,5 %	15,9 %
75 m/s	20,4 %	28 %	27,4 %

Conclusions

A partir de quatre installations éoliennes modélisées, un calcul de rentabilité a été établi à l'aide d'un modèle basé sur la rétribution d'injection actuellement en vigueur. Sous réserve des hypothèses initiales, les calculs permettent de tirer les conclusions suivantes:

- Le site est décisif pour la rentabilité d'une installation éolienne. Les autres mesures d'optimisation et de baisse de coûts dans le domaine financier ou pour réduire le montant d'investissement n'arrivent qu'en seconde position. Pour ces dernières, la marge de manœuvre est quasiment inexistante étant donné la situation actuelle de la demande.
- Les installations éoliennes ne peuvent être rentables que sur un très petit nombre de sites en Suisse. Dans les régions agricoles, on compte éventuellement quelques sites dans le Jura, qui présentent des vitesses de vent moyenne de plus de 65 m/s.
- Sur les sites plus répandus qui affichent une vitesse de vent moyenne d'environ 5 m/s, la rétribution d'injection actuelle ne permet pas de couvrir les coûts de production. Sur ces sites, le coût de revient du courant dans les installations modélisées est 50 % supérieur aux rétributions d'injection dans les installations pour vents forts, resp. 150 % au-dessus des rétributions d'injection dans les installations pour vents faibles.

Annexe

Principes techniques

Les installations éoliennes modernes utilisent le principe de portance pour la production d'électricité. Ce sont donc des installations à entraînement aérodynamique. Les pales du rotor ont un profil aérodynamique, qui crée un phénomène de portance par différence de pression comme avec les ailes d'un avion. La différence de pression est due à la différence de vitesse entre la partie supérieure de l'aile (extrados) et la partie inférieure de l'aire (intrados). La portance met les rotors en rotation. Le régime des rotors peut se régler de deux manières pour empêcher une surcharge du générateur et des autres pièces de la machine.

On distingue le concept de Stall et celui de Pitch. Avec le concept Stall, l'éolienne pivote ses pales dans le sens opposé, l'angle d'attaque du rotor est augmenté, ce qui permet d'obtenir un décrochage aérodynamique (en angl. stall) sur la partie supérieure des pales du rotor. La portance diminue et la résistance augmente. Le concept Pitch est basé, lui, sur une orientation plus importante de l'angle des pales (en angl. to pitch = orienter). Lorsque la vitesse du vent est trop élevée, la pale du rotor sous le vent est pivotée, ce qui réduit l'angle d'attaque, la puissance et la sollicitation sont limitées. Sur le marché aujourd'hui, ce sont les installations légères régulées par le concept Pitch, à régime variable qui se sont imposées et qui ont pratiquement évincées les installations Stall simples et robustes. L'emploi d'une technique de réglage moderne permet à l'installation d'alimenter le réseau en continu. Lorsque le vent est trop fort, la puissance est réduite et une injection homogène reste garantie. En cas d'orage, l'installation s'arrête doucement et empêche ainsi une chute de puissance abrupte. Cette méthode évite de causer des dommages au réseau de transmission et augmente la comptabilité de l'installation au réseau.

technik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

Suisse Eole 2007: Windenergie in der Schweiz – Zahlen und Fakten, Informationsblatt Stand 12.01.2007, Bubendorf.

Autres sources

Révision de l'Ordonnance sur l'énergie & Ordonnance sur l'approvisionnement en électricité (OApEl) – ouverture de la procédure de consultation, parution: 27.6.2007, Institution: Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Paul Scherrer Institut (PSI) für das Bundesamt für Energie (BFE), Final Draft 24 September 2004, BFE Energieperspektiven: Erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen, Kapitel 5: Windenergie.

Rigassi R. für Suisse Eole, Schlussbericht November 2005, Sicherheit von Windkraftanlagen in der Schweiz (Hauptbericht), im Auftrag des BFE.

Millais C. et Teske S., Mai 2004: Windstärke 12 (Wind Force 12), Wie es zu schaffen ist, bis zum Jahr 2020 12 % der weltweiten Elektrizitätsbedarfs durch Windenergie zu decken, European Wind Energy Association & Greenpeace.

<http://www.windpower.org/de/tour/wres/pow/index.htm>

Bibliographie

Bührke T. et Wengenmayr R. (eds.) 2007: Erneuerbare Energie: Alternative Energiekonzepte für die Zukunft, 1. Auflage, WILEY-VCH, Weinheim.

Gazzarin Ch. et Zumbühl Th. 2008: Installations photovoltaïques dans les exploitations agricoles – L'investissement vaut-il la peine? Rapports ART n° 694, Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon, Ettenhausen.

Gubler N., Gazzarin Ch., Dux. D. et Engeli H. 2007: Rentabilité des installations de biogaz – Etude des principaux facteurs d'influence à partir de deux installations modélisées. Rapports ART n° 676, Station de recherche Agroscope Reckenholz Tänikon, Ettenhausen.

KTBL 2004: Die Landwirtschaft als Energieerzeuger, KTBLSchrift 420, Kuratorium für Landtechnik und Bauwesen in der Landwirtschaft 2004, Darmstadt.

Kaltschmitt M., Streicher W. et Wiese A. (eds.) 2006: Erneuerbare Energien System-

Des demandes concernant les sujets traités ainsi que d'autres questions de technique et de prévention agricoles doivent être adressées aux conseillers cantonaux en machinisme agricole. Les publications peuvent être obtenues directement à la ART (Tänikon, CH-8356 Ettenhausen). Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: doku@art.admin.ch, Internet: www.art.admin.ch