



**AMSTEIN + WALTHERT**

Questo documento è disponibile solo in francese e in tedesco

# Potentiels de production d'énergies renouvelables auprès des entreprises de transport

Synthèse pour les entreprises de transport

Mise en œuvre de la stratégie énergétique 2050  
dans les transports publics (SETP 2050)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra



Source de la photo : [www.klima-wandel.com](http://www.klima-wandel.com)

Version 1 / 7 mars 2017

**Amstein + Walthert AG, Andreasstrasse 11, 8050 Zürich**  
Téléphone +41 44 305 91 11, Fax +41 44 305 92 14, [www.amstein-walthert.ch](http://www.amstein-walthert.ch)

## Introduction

Conformément au mandat du Conseil fédéral à l'OFT dans le cadre de la stratégie énergétique 2050 dans les transports publics (SETP 2050), les entreprises de transports publics sont tenues de contribuer à la production d'énergies renouvelables. L'OFT a défini en principe trois principaux axes de travail à traiter :

- Principes : instaurer des mesures incitatives et des obligations
- Information et communication : promouvoir l'échange
- Pratique : promouvoir les progrès sur le plan de la technique et de l'exploitation (notamment en encourageant les projets de recherche et les projets pilotes)

La présente étude, dont voici la synthèse, poursuit trois objectifs :

Mieux connaître les intérêts et les besoins des ET

Les recherches et sondages ont démontré que certaines ET se penchent déjà activement sur la question. En résumé, on peut dire que de nombreuses ET font preuve d'engagement lorsqu'il s'agit d'aborder ce thème. Les connaissances nécessaires à la mise en œuvre sont toutefois en grande partie insuffisantes et tout soutien est donc le bienvenu. La rentabilité des projets est considérée comme le principal obstacle à une mise en œuvre à court terme des potentiels existants.

Analyse des potentiels

Les potentiels des différents agents énergétiques et applications sont décrits et évalués ci-après.

Propositions de mesures à l'OFT

Dans le cadre de l'étude et suite à un atelier avec des représentants d'entreprises de transports publics, 19 mesures au total ont été proposées dans 6 domaines pour soutenir la mise en œuvre auprès des ET.

## Définition des potentiels

**Potentiel théorique** : Le potentiel théorique décrit l'offre énergétique théoriquement utilisable d'un point de vue physique au sein d'une région donnée et dans un laps de temps spécifique.

**Potentiel technique** : Le potentiel technique correspond à la proportion du potentiel théorique utilisable en tenant compte des restrictions techniques.

**Potentiel économique** : Le potentiel économique correspond à la proportion du potentiel technique obtenue lorsque les coûts de revient sont jusqu'à 20 % supérieurs aux coûts actuels des systèmes concurrents. Les estimations des coûts sont approximatives et présentent un degré de précision d'env. ±30 %. Les coûts de revient de l'électricité sont calculés à l'instar de la rétribution à prix coûtant du courant injecté (RPC) :

$$\text{Coûts de revient de l'électricité} = \frac{\text{Coûts d'exploitation} + \text{coût du capital (annuités)}}{\text{Production d'énergie moyenne}}$$

Dans la présente étude, il est question de l'évaluation des potentiels de production d'énergies renouvelables auprès des ET en tenant compte de l'ensemble des infrastructures, installations et bâtiments disponibles. Les résultats ont été recueillis à partir d'études de potentiel existantes (CFF) dans le domaine des transports publics pour la production/transformation des énergies renouvelables, et les résultats ont été extrapolés dans la mesure du possible sur l'ensemble du secteur des TP.

À l'instar du GC-EEC, le potentiel technique et économique a été pris en compte dans la mesure du possible. Des potentiels théoriques sont formulés en l'absence de potentiels techniques dans les ouvrages scientifiques ou lorsque des estimations s'imposent. L'enregistrement de type « bottom-up » des potentiels techniques ne faisait pas l'objet de cette étude.

## Potentiels dans le domaine de la chaleur

Dans le domaine de la chaleur, une évaluation de potentiel sur l'ensemble du secteur des transports publics indique un potentiel technique de 133 GWh/an. Ce chiffre est basé en grande partie sur des études de potentiels existantes, ainsi que sur des extrapolations. Environ 100 GWh/an semblent réalistes sur le plan économique selon les conditions-cadres actuelles, la majeure partie résidant dans l'utilisation du bois en tant qu'agent énergétique et le remplacement des énergies fossiles par des pompes à chaleur dans le domaine du bâtiment ainsi que pour le chauffage des aiguilles.

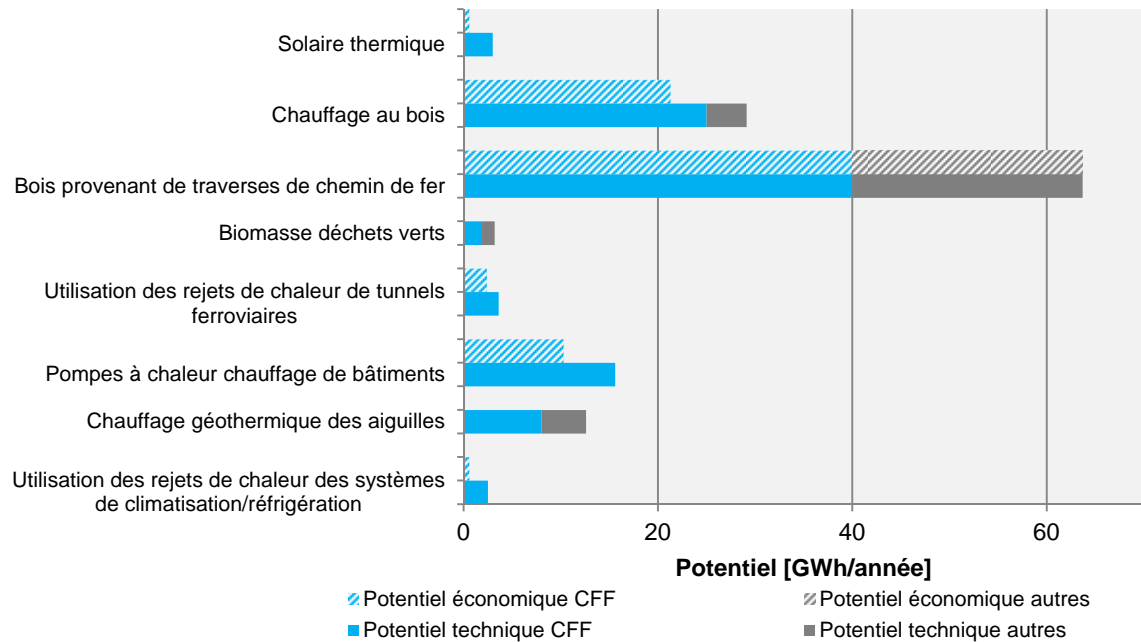



Illustration 1 Potentiels techniques et économiques de la chaleur issue d'énergies renouvelables


## Potentiels du solaire thermique

Le solaire thermique pour les restaurants de montagne et les hôtels, ainsi que les CFF


<p><b>Hôtel à énergie positive Muottas Muragl</b></p>  <p>Photo : Romantik Hotel Muottas Muragl</p>	<p>Secteur concerné : Chemin de fer, installations de transport à câble</p> <p>Les capteurs solaires (capteurs plans et à tubes) produisent de la chaleur solaire pour l'eau chaude et le chauffage.</p> <p>L'énergie thermique excédentaire est stockée dans le champ de sondes géothermiques et extraite à nouveau, le cas échéant, au moyen d'une pompe à chaleur.</p> <p>Les besoins énergétiques du complexe hôtelier sont couverts à 100 % par l'énergie solaire.</p>
<p>Potentiel : Technique</p>	<p>CFF : Chaleur : 3 GWh/an</p> <p>Autres ET : Chaleur : s.o.</p>
<p>Potentiel : Économique</p>	<p>CFF : Chaleur : 0,6 GWh/an</p> <p>Autres ET : Chaleur : s.o.</p>
<p>Recommandations ET :</p>	<p>Pour les constructions et transformations d'hôtels, restaurants et autres installations ayant des besoins thermiques importants, tenir compte du solaire thermique en tant qu'agent énergétique, y compris pour la régénération de champs de sondes géothermiques.</p>

## Potentiels de la biomasse


### Chauffage au bois provenant de forêts propres

 <p>Photo : waldwissen.net</p>	<b>Secteur concerné :</b> Toutes les ET possédant des forêts Les CFF possèdent plus de 1600 ha de forêts, dont une partie de forêt protectrice. L'utilisation de 70 % de cette surface forestière dans le cadre d'une gestion durable génère un potentiel calorifique de 23,9 GWh. Ceci correspond au potentiel de 25 GWh/an extrapolé dans le cadre du GC-EEC pour le remplacement des énergies fossiles par des chauffages au bois. Partant de ces hypothèses, les CFF pourraient donc couvrir en grande partie leur potentiel à partir de leur propre peuplement forestier. La surface forestière totale rapportée d'autres ET s'élève à 276 ha.		
	<b>Potential : Technique</b>	CFF :	Chaleur : 25 GWh/an
	Autres ET :	Chaleur : 4,13 GWh/an	
<b>Potential : Économique</b>	CFF :	Chaleur : 21,3 GWh/an	
	Autres ET :	Chaleur : s.o.	
<b>Recommandations ET :</b>	Déterminer les possibilités de valorisation énergétique du bois provenant de forêts propres en remplacement des énergies fossiles.		

### Bois issu de la valorisation de traverses de chemin de fer



<b>Étude de faisabilité CFF</b> 	<b>Secteur concerné :</b> Chemin de fer En vue de l'élimination de 18 000 tonnes de traverses chaque année, une étude menée pour le compte des CFF propose la construction d'une centrale à bois. Une turbine à vapeur permettrait de transformer en électricité env. 20 % du contenu énergétique. Un réseau de chauffage à distance alimenterait les zones adjacentes en chaleur pour les applications de chauffage, de refroidissement et de climatisation. Des partenaires sont recherchés en vue de la réalisation du projet.		
	<b>Potential : Technique</b>	CFF :	Chaleur : 40 GWh/an
	Autres ET :	Chaleur : 25 GWh/an	Électricité : 6 GWh/an
<b>Potential : Économique</b>	La centrale à bois pourrait être exploitée de manière rentable, la rentabilité correspondant au potentiel technique.		
<b>Recommandations ET :</b>	Prévoir l'élimination des traverses en vue d'une utilisation énergétique en Suisse.		

### Biomasse déchets verts des remblais de voies

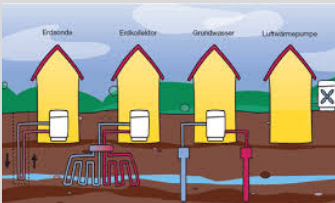
<b>Étude ZHAW pour le compte des CFF</b> 	<b>Secteur concerné :</b> Chemin de fer Près de 20 000 m <sup>3</sup> de déchets verts sont produits et abandonnés chaque année le long des voies ferrées en Suisse. L'étude conclut que les déchets verts pourraient servir à produire du biogaz. Les coûts d'évacuation et de valorisation les plus faibles reposent sur la codigestion dans des installations de biogaz agricoles existantes.		
	<b>Potential : Technique</b>	CFF :	Chaleur : 1,9 GWh/an
	Autres ET :	Chaleur : 1,3 GWh/an	Électricité : 1,0 GWh/an
<b>Recommandations ET :</b>	Déterminer le potentiel propre de valorisation énergétique des déchets verts en tenant compte de la logistique.		

## Potentiels de la chaleur ambiante


Eau de drainage provenant de tunnels ferroviaires et d'absorbeurs au niveau des voûtes

<p><b>Tunnel de la Furka</b></p>  <p>Photo : André Schild</p>	<p>Secteur concerné : Chemin de fer</p> <p>Environ 5'400 l/min d'eau de drainage à 16°C quittent l'entrée ouest du tunnel ferroviaire de la Furka. Une conduite achemine l'eau jusqu'au village d'Oberwald.</p> <p>Un réseau de distribution alimente les pompes à chaleur des différents utilisateurs de manière décentralisée avec l'eau provenant du tunnel. 177 appartements ainsi qu'une salle de sport de la commune sont chauffés avec la chaleur provenant du tunnel.</p> <p>À moyen terme, les rejets de chaleur du tunnel de base du Ceneri et du tunnel du Simplon pourraient potentiellement être récupérés.</p>
<p><b>CEVA Genève</b></p>  <p>Photo : ceva.ch</p>	<p>Secteur concerné : Chemin de fer</p> <p>Par le biais du SIG (Service Industriel de Genève), des géostructures intégrées dans un tunnel dans le cadre du projet CEVA assurent le chauffage et le refroidissement pour un quartier d'habitation attenant. Le projet fait office de pilote.</p> <p>Les structures activables (parois moulées et fondations) couvrent une superficie de 7633 m<sup>2</sup> avec un potentiel énergétique (chaleur et froid) de 1,6 à 3,2 GWh/an.</p>
<p>Potentiel : Technique</p>	<p>CFF : Chaleur : 3,6 GWh/an Autres ET : Chaleur : s.o.</p>
<p>Type de potentiel : Économique</p>	<p>CFF : Chaleur : 2,4 GWh/an Autres ET : Chaleur : s.o.</p>
<p>Recommandations ET :</p>	<p>Permettre à des tiers de créer et d'exploiter des installations géothermiques dans des tunnels.</p> <p>Condition préalable pour des projets réussis : une planification coordonnée à long terme.</p> <p>Dans le cadre de projets propres (p. ex. gares souterraines), l'utilisation d'absorbeurs au niveau des voûtes pour les propres consommateurs de chaleur.</p>


## Pompes à chaleur pour le chauffage de bâtiments

 <p>Photo : heizungsfinder.de</p>	<p>Secteur concerné : Toutes les ET</p> <p>La technologie de chauffage de bâtiments à l'aide de sondes géothermiques et de pompes à chaleur est bien établie en Suisse et fait déjà partie intégrante de l'utilisation d'énergies de substitution non fossiles. Elle est aussi en principe applicable aux bâtiments administratifs, aux gares et aux bâtiments d'exploitation d'ET.</p> <p>Parallèlement à des mesures d'assainissement énergétique au niveau du bâtiment (isolation thermique, ventilation contrôlée), le remplacement des agents énergétiques fossiles par des pompes à chaleur est très souvent pertinent.</p>
<p>Potentiel : Technique</p>	<p>CFF : Chaleur : 15,6 GWh/an Autres ET : Chaleur : Potentiel disponible (substitution)</p>
<p>Potentiel : Économique</p>	<p>CFF : Chaleur : 10,3 GWh/an Autres ET : Chaleur : Potentiel disponible (substitution)</p>
<p>Recommandations ET :</p>	<p>Introduction de normes applicables aux bâtiments en tenant compte de la production d'énergies renouvelables.</p> <p>Application des recommandations de la KBOB concernant les installations techniques du bâtiment.</p>

## Chauffage géothermique des aiguilles

<p><b>Installation pilote Gare de Grünberg D</b></p>  <p>Photo : PINTSCH ABEN Geotherm</p>	<p>Secteur concerné : Chemin de fer</p> <p>Chauffage d'aiguilles autonome au moyen d'un caloduc gravitationnel avec du CO<sub>2</sub> en tant que fluide moteur (Heat-Pipe). Ce type d'installation fonctionne sans énergie d'appoint ni commande. Les conduites menant aux condensateurs doivent présenter une montée constante pour que le système fonctionne.</p> <p>Deux autres fournisseurs utilisent des pompes à chaleur avec des sondes géothermiques traditionnelles.</p>
<p>Potentiel : Technique</p>	<p>CFF : Chaleur : 8 GWh/an Autres ET : Chaleur : 4,6 GWh/an</p>
<p>Recommandations ET :</p>	<p>Envisager une transformation des chauffages d'aiguilles traditionnels en tant que projet pilote.</p>

## Potentiels d'utilisation des rejets de chaleur des systèmes de climatisation / réfrigération

 <p>Photo : Amstein+Walthert AG</p>	<p>Secteur concerné : Toutes les ET possédant d'importants systèmes de climatisation</p> <p>La surveillance et la gestion de l'exploitation ferroviaire nécessite des centres informatiques ainsi que des installations électriques décentralisées le long des voies de chemin de fer. Les appareils dans ces installations génèrent une charge thermique considérable, qui doit être évacuée en période estivale. Pour l'instant, des systèmes de climatisation sont généralement utilisés à cet effet. Le rafraîchissement par géothermie (geo-cooling) pourrait justement représenter une alternative intéressante et avantageuse pour les installations décentralisées. La chaleur est notamment évacuée dans la terre via une sonde géothermique ou une nappe de tubes. L'hiver, le système peut également servir pour le chauffage en cas de besoin. Les CFF testent actuellement ce système dans quatre installations pilotes.</p>
<p>Potentiel : Technique</p>	<p>CFF : Chaleur : 1,9 GWh/an Autres ET :Chaleur : s.o.</p>
<p>Potentiel : Économique</p>	<p>CFF : Chaleur : 0,6 GWh/an Autres ET :Chaleur : s.o.</p>
<p>Recommandations ET :</p>	<p>Déterminer les possibilités d'utilisation des rejets de chaleur pour l'utilisation d'énergies de substitution non fossiles.</p>

## Potentiels dans le domaine de l'électricité

Au niveau de huit applications dans le domaine de l'électricité, seuls des potentiels théoriques ont pu être identifiés (en bleu foncé dans les illustrations 2 et 3 suivantes). En incluant quatre applications qui ne sont pas encore réalisables pour le moment sur le plan technique (visions), ils représentent 1000 GWh/an. La somme des potentiels techniques de l'ensemble des applications étudiées représente 202 GWh/an. 131 GWh/an semblent réalistes sur le plan économique selon les conditions-cadres actuelles, principalement avec l'énergie éolienne, la petite hydraulique, la transformation en électricité à l'aide d'une turbine à vapeur dans une centrale à bois planifiée et des installations photovoltaïques sur des ateliers, entrepôts, dépôts et toitures de quais.

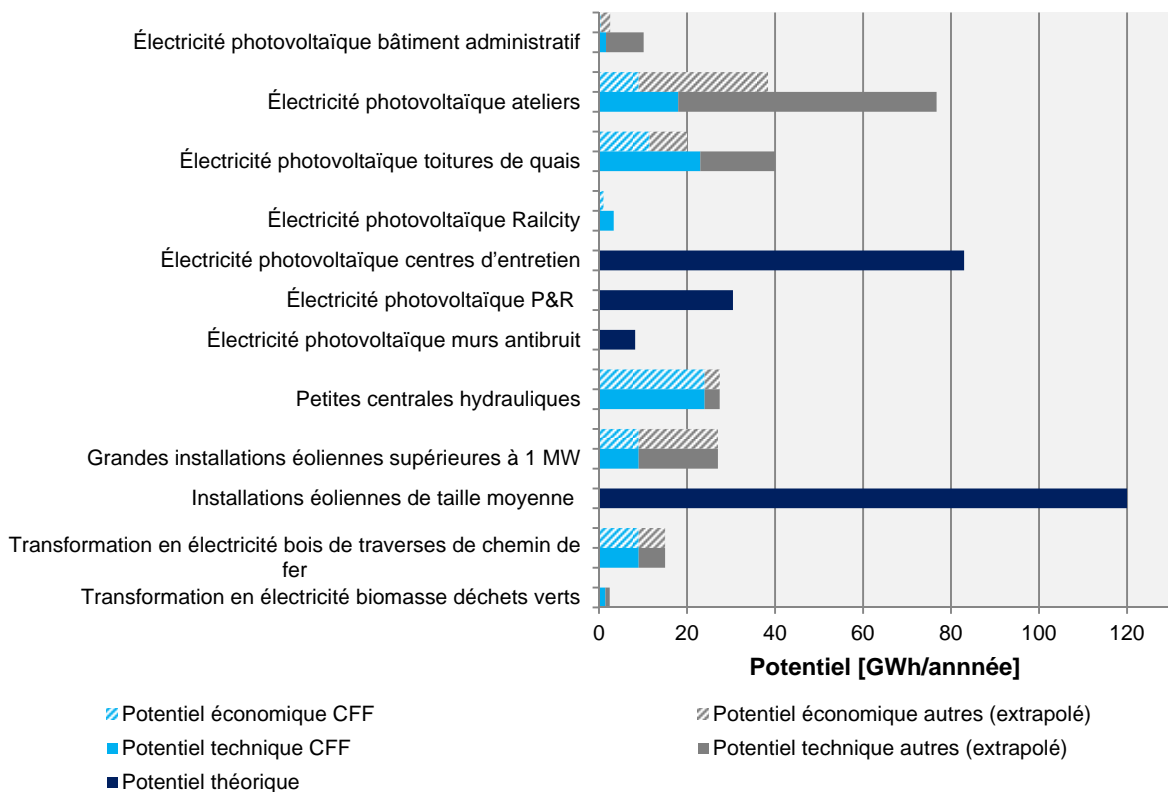


Illustration 2 Potentiels théoriques, techniques et économiques d'électricité renouvelable sans visions

Les visions de l'électricité photovoltaïque sont présentées à une autre échelle :

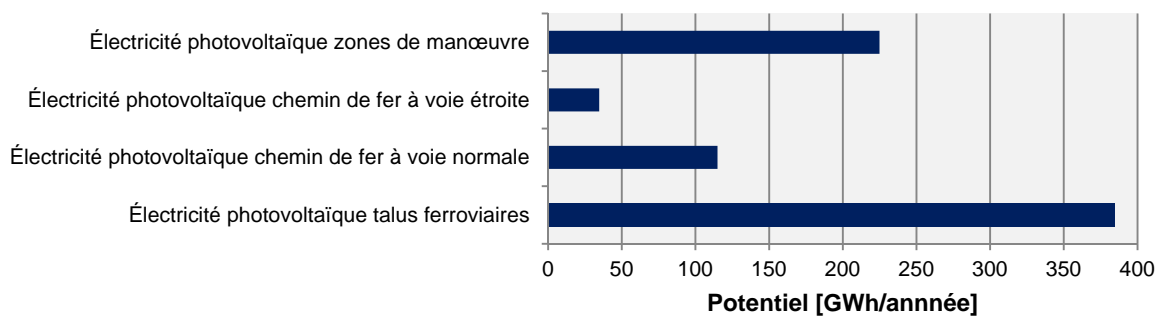



Illustration 3 Potentiels théoriques des visions de l'électricité photovoltaïque

## Potentiels de l'électricité photovoltaïque

### Électricité photovoltaïque sur les toitures et façades d'un bâtiment administratif

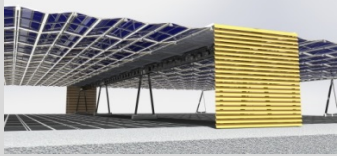
<p><b>Construction à énergie positive 115 % du bâtiment administratif de Flumroc</b></p>  <p>Photo : Flumroc</p>	<p>Secteur concerné : Toutes les ET</p> <p>Le bâtiment administratif de Flumroc SA a été rénové en 2013. Les panneaux photovoltaïques intégrés avec soin en façade produisent 114 000 kWh/an en combinaison avec l'installation en toiture de 71 kWp, ce qui correspond à une autoproduction d'énergie de 115 %.</p> <p>L'isolation thermique exemplaire, la façade solaire et les panneaux photovoltaïques monocristallins installés en toiture ont transformé le bâtiment administratif « énergivore » en un immeuble administratif PlusEnergie innovant, avec un surplus de courant photovoltaïque pour l'usine attenante de Flumroc.</p>
Potentiel : Théorique	CFF : Électricité : Toit 1,33 GWh/an Façade 0,24 GWh/an Autres ET : Électricité : Toit 7,27 GWh/an Façade 1,3 GWh/an
Potentiel : Économique	CFF : Électricité : Toit 0,33 GWh/an Façade 0,06 GWh/an Autres ET : Électricité : Toit 1,81 GWh/an Façade 0,32 GWh/an
Coûts de revient de l'énergie :	Pour les installations sur toitures plates : 17,8 ct/kWh
Recommandations ET :	Détermination du potentiel en termes d'électricité photovoltaïque à l'aide de la méthode bottom-up. Étude de faisabilité et de rentabilité en tenant compte de la proportion d'électricité propre, de préférence en corrélation avec des mesures d'assainissement énergétique concrètes au niveau du bâtiment.

### Électricité photovoltaïque sur toitures d'ateliers/d'entrepôts/de dépôts


<p><b>Installations photovoltaïques AAR Bus+Bahn</b></p>  <p>Photo : www.aar.ch</p>	<p>Secteur concerné : Toutes les ET</p> <p>La planification et la mise en place d'installations photovoltaïques (PV) sont devenues un pilier d'avenir pour IBAarau, qui réalise ses propres installations de grande envergure, mais aussi des toits ouvrants pour l'industrie, l'artisanat ainsi que des propriétaires immobiliers publics et privés.</p> <p>En collaboration avec AAR bus+bahn, IBAarau a mis en place sur le toit du dépôt de bus Telli une grande installation photovoltaïque de 580 m<sup>2</sup>, qui produira chaque année près de 100 000 kilowattheures d'électricité renouvelable.</p>
Potentiel : Technique	CFF : Électricité : 18 GWh/an Autres ET : Électricité : 58,7 GWh/an
Potentiel : Économique	CFF : Électricité : 9 GWh/an Autres ET : Électricité : 29,4 GWh/an
Coûts de revient de l'énergie :	17 ct/kWh
Recommandations ET :	Déterminer les potentiels liés à l'utilisation de l'électricité photovoltaïque à partir d'analyses standardisées des potentiels. Étude de faisabilité et de rentabilité en tenant compte des mesures d'assainissement énergétique concrètes au niveau du bâtiment.




### Électricité photovoltaïque au niveau d'ateliers et d'installations Park & Ride (P&R)

<p><b>Toit pliant solaire</b></p>  <p>Photo : dhp technology GmbH</p>	<p>Secteur concerné : Toutes les ET</p> <p>Le produit HORIZON (dhp technology GmbH) offre par exemple de nouvelles perspectives intéressantes d'utiliser les terrains des centres d'entretien et des espaces Park &amp; Ride pour l'électricité photovoltaïque. Cette start-up a développé le concept de Solarwings/Urban Plant et est sur le point de mettre en œuvre les premiers projets. Les coûts de revient de l'électricité sont valables pour la phase pilote et présentent un potentiel de baisse considérable.</p>
<p>Potentiel : Théorique</p>	<p>Toiture pour aires de stationnement P&amp;R : Électricité : 30,4 GWh/an Toiture de centres d'entretien : Électricité : 83 GWh/an</p>
<p>Coûts de revient de l'énergie :</p>	<p>Coûts de revient de l'énergie entre 20,5 et 22,1 ct/kWh</p>
<p>Recommandations ET :</p>	<p>Prise en compte d'aires de stationnement et de centres d'entretien dans le cadre d'une analyse standardisée des potentiels en tant qu'installations photovoltaïques.</p> <p>Examen de projets pilotes sur des terrains propres, en combinaison avec des stations de recharge pour le P&amp;R.</p>

### Électricité photovoltaïque dans des murs antibruit

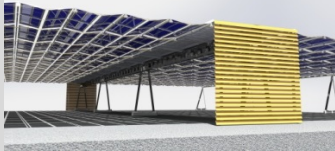
<p><b>Gare de Munisenges</b></p>  <p>Photo : TNC Consulting GmbH</p>	<p>Secteur concerné : Chemin de fer</p> <p>Le long de la ligne nord-sud Berne-Lötschberg, un axe important et très fréquenté, la commune de Munisenges a mis en place le premier mur antibruit photovoltaïque biface au monde au niveau d'une ligne de chemin de fer à proximité de la gare de Munisenges. L'électricité photovoltaïque produite est injectée et vendue au profit de la bourse de courant écologique de Munisenges. L'installation affiche une puissance de 12,85 kW<sub>p</sub>. Le rendement prévu est de 6750 kWh/an.</p>
<p>Potentiel : Théorique</p>	<p>50 % de murs antibruit (nouvelles constructions, retrofit) : Électricité : 8,2 GWh/an</p>
<p>Recommandations ET :</p>	<p>Action coordonnée avec l'OFT dans l'optique de déterminer le potentiel technique ainsi que d'autres mesures.</p> <p>Dans le cadre du cycle d'entretien, vérifier la mise en œuvre du PV.</p>

### Électricité photovoltaïque au niveau des toitures de quais

<p><b>Toiture de quai PV à la gare centrale de Zurich</b></p>  <p>Photo : energiebüro</p>	<p>Secteur concerné : Chemin de fer</p> <p>Les toitures de quais conviennent tout particulièrement pour la production photovoltaïque ; les expériences en matière d'exploitation sont positives ; un besoin de nettoyage accru résultant de la poussière générée par le freinage doit toutefois également être pris en compte.</p> <p>L'installation PV au niveau de la toiture des quais des CFF à la gare centrale de Zurich affiche une puissance installée de 50 kWp avec un rendement annuel d'environ 42'000 kWh/an. ADEV-Solarstrom AG à Liestal est propriétaire de l'installation PV. Les CFF préparent la toiture des quais ainsi que le réseau des CFF, et la bourse d'électricité solaire du service d'approvisionnement en électricité de la ville de Zurich EWZ prend en charge l'électricité photovoltaïque.</p>
<p>Potentiel : Technique</p>	<p>CFF : Électricité : 23 GWh/an Autres ET : Électricité : 17 GWh/an</p>
<p>Potentiel : Économique</p>	<p>CFF : Électricité : 11,5 GWh/an Autres ET : Électricité : 8,5 GWh/an</p>
<p>Coûts de revient de l'énergie :</p>	<p>Coûts de revient de l'électricité : 19 ct/kWh (coûts d'installation et d'entretien accrus)</p>
<p>Recommandations concrètes ET :</p>	<p>Déterminer les potentiels d'utilisation de l'électricité photovoltaïque à partir d'analyses standardisées des potentiels.</p>

## Visions de l'électricité photovoltaïque


### Électricité photovoltaïque dans les gares de triage

<p><b>Toit pliant solaire</b></p>  <p>Photo : dhp technology GmbH</p>	<p>Secteur concerné : Chemin de fer</p> <p>Le toit pliant solaire HORIZON pourrait recouvrir les installations de voies pour la mobilité douce (zones de manœuvre/remisage) sans que la surface ne subisse de restriction. L'entraxe max. de 17 et 25 m entre les poteaux permet d'appuyer l'ossature porteuse sur les pylônes électriques. Le toit pliant solaire assure un ombrage qui protège les voies, les trains, les marchandises et les personnes contre le rayonnement UV et la surchauffe. Le soir, le toit pliant se replie et reste protégé toute la nuit contre le vandalisme.</p>
<p>Potentiel : Théorique</p>	<p>Zone de manœuvre CFF : Électricité : 217,7 GWh/an Autres ET : Électricité : 7,3 GWh/an</p>
<p>Clarifications et développements requis :</p>	<p>Structure porteuse modulable pour l'utilisation conjointe statique des pylônes électriques au-dessus des installations de voies - technologie des onduleurs pour un approvisionnement direct du réseau ferroviaire en électricité photovoltaïque - sécurité à proximité des lignes de contact - influences de l'environnement sur le toit pliant au-dessus d'une installation de voie.</p>

### Électricité photovoltaïque au niveau des talus ferroviaires et des zones adjacentes aux voies ferrées


<p><b>Installation photovoltaïque à Neumarkt</b></p>  <p>Photo : EXAPHI GmbH</p>	<p>Secteur concerné : Chemin de fer</p> <p>Dans les pays limitrophes, les installations sur surfaces non bâties sont mises en œuvre à grande échelle et présentent des coûts de revient de l'électricité très intéressants. Une étude de l'institut Fraunhofer ISE prévoit pour 2018 des prix de revient de l'électricité inférieurs à 0,08 EUR/kWh. Aucune raison économique ne devrait empêcher à l'avenir l'injection dans le réseau de courant de traction.</p>
<p>Potentiel : Théorique</p>	<p>Espaces verts dans le réseau ferroviaire suisse Électricité : 384 GWh/an</p>
<p>Clarifications et développements requis :</p>	<p>Technologie des onduleurs pour un approvisionnement direct du réseau ferroviaire en électricité photovoltaïque - examen des incidences de l'injection décentralisée de l'électricité photovoltaïque dans le réseau de courant de traction et performances maximales - contrôle de l'impact sur l'environnement.</p>

### Électricité photovoltaïque dans les zones ferroviaires

 <p>Photo : Wattway</p>	<p>Secteur concerné : Chemin de fer</p> <p>Il existe d'ores et déjà des projets dont l'objectif est d'exploiter des surfaces routières utilisées pour produire de l'électricité photovoltaïque. Pour cela, des modules solaires sont conçus pour résister aux conditions rigoureuses des routes. Un système similaire pourrait être installé à l'avenir pour produire également de l'électricité photovoltaïque dans des zones ferroviaires.</p>
<p>Potentiel : Théorique</p>	<p>Chemin de fer à voie normale : Électricité : 115 GWh/an Chemin de fer à voie étroite : Électricité : 35 GWh/an</p>
<p>Clarifications et développements requis :</p>	<p>Technologie des onduleurs pour un approvisionnement direct du réseau ferroviaire en électricité photovoltaïque - cycles de maintenance des tronçons de lignes ferroviaires - propriétés autonettoyantes des surfaces / nettoyage automatique - détérioration - ombrage.</p>

## Potentiels de l'énergie hydraulique

### Aménagement d'une petite centrale hydraulique


<p><b>Jungfraubahnen : aménagement centrale Lütschental</b></p>  <p>Photo : Jungfraubahn AG</p>	<p>Secteur concerné : Chemin de fer, installations à câble</p> <p>En raison de l'âge des machines, la construction de la nouvelle installation de production a été lancée en 2008. Les travaux du projet « G55 » ont été achevés avec succès en 2011. 2 turbines Pelton verticales à 6 injecteurs sont désormais en service et affichent en période estivale une puissance installée de 11,5 MW. L'installation permet désormais de produire env. 55 GWh/an d'énergie électrique au lieu d'env. 35 GWh/an. Les chemins de fer de la Jungfrau déclarent que la conception d'une petite centrale hydraulique supplémentaire est terminée et qu'une approbation RPC a déjà été formulée. La production annuelle représentera 3,4 GWh/an.</p>
<p>Potentiel : Technique</p>	<p>CFF : Électricité : 24 GWh/an Autres ET : Électricité : 3,4 GWh/an</p>
<p>Potentiel : Économique</p>	<p>La rentabilité correspond au potentiel technique.</p>
<p>Recommandations ET :</p>	<p>Identifier le potentiel de production hydroélectrique dans le cadre d'une analyse de potentiel.</p>

### Lacs d'accumulation pour enneigement


<p><b>Sinfonia d'Aua Flims Electric / Weisse Arena</b></p>  <p>Photo : Flims Electric</p>	<p>Secteur concerné : Chemin de fer, installations de transport à câble</p> <p>Sinfonia d'aua est un projet culturel technique sous l'égide de Flims Electric AG, qui a vu le jour en étroite collaboration avec la commune de Flims et Weisse Arena AG. Une production d'électricité respectueuse de l'environnement dans 6 petites centrales hydrauliques, en combinaison avec des lacs d'accumulation pour l'enneigement en période hivernale, permet de combiner judicieusement pour l'avenir le stockage et la production hydroélectrique.</p> <p>Il ne peut être fait état d'aucun potentiel. Pour de nombreux chemins de fer de montagne et remontées mécaniques, il est toutefois évident que si le réchauffement climatique se poursuit, les lacs d'accumulation devront jouer le rôle des glaciers.</p>
<p>Recommandations ET :</p>	<p>Rechercher une collaboration avec des fournisseurs d'énergie en vue d'une utilisation des ressources respectueuse de l'environnement et efficace sur le plan énergétique, ainsi que de la création de synergies.</p>

## Potentiels de l'énergie éolienne

### Installations de 50 à 300 kW

<p><b>Petites installations éoliennes au niveau de remontées mécaniques et chemins de fer de montagne dans les cantons GR et VS</b></p>  <p>Photo : Pixabay</p>	<p>Secteur concerné : Chemin de fer, installations à câble</p> <p>Dans le cadre d'un travail de certificat pour le CAS Énergies Renouvelables, le potentiel des petites installations éoliennes au niveau de remontées mécaniques et chemins de fer de montagne dans les cantons GR et VS a fait l'objet d'une étude en 2010 à la FHNW. En raison des vitesses élevées du vent, 1130 sites potentiels conviennent. Aux fins du calcul de potentiel, de petites installations éoliennes affichant une puissance de 5,5 kW ont été projetées à grande échelle à 100 kW. En cas de recours à des installations de plus grande envergure au niveau de remontées mécaniques et chemins de fer de montagne, les points suivants doivent être examinés plus en détail : Procédure d'autorisation, protection du paysage, poids max. des installations éoliennes pour le transport vers des sites exposés, sécurité (projection de glace).</p>
<p>Potentiel : Théorique</p>	<p>Potentiel pour les stations supérieures extrapolé à partir de l'étude FHNW : Électricité : 120 GWh/an</p>
<p>Recommandations ET :</p>	<p>Envisager des installations pilotes (programme P+D+L de l'OFEN).</p>

## Grandes installations éoliennes supérieures à 1 MW

<b>Parc éolien Vorab Flims Electric/Weisse Arena</b> 	Secteur concerné : Chemin de fer, installations de transport à câble En 2013, Weisse Arena a étudié la faisabilité d'un parc éolien dans la région du Vorab, en collaboration avec l'entreprise électrique locale Flims Electric et BKW. 6 turbines éoliennes avec un rendement annuel total de 18 GWh sont planifiées. Près des deux tiers de l'énergie ainsi obtenue sont destinés au fonctionnement des remontées mécaniques et chemins de fer de montagne et suffisent à alimenter l'ensemble des remontées et installations d'enneigement. Le tiers restant sera injecté dans le réseau.
	Photo : ZVG
Potentiel : Technique	CFF (selon étude) : Électricité : 9 GWh/an Autres ET (Vorab) : Électricité : 18 GWh/an
Potentiel : Économique	La rentabilité correspond au potentiel technique.
Recommandations ET :	Envisager une participation à des projets éoliens de grande envergure dans la zone d'influence.

## Conclusion

Résumé		Théor.				
		uniquement [GWh/an]	Techn. [GWh/an]	Écon. [GWh/an]	Visions [GWh/an]	Total [GWh/an]
Toutes les ET	Potentiel global chaleur		133,3	98,9		
	Potentiel global électricité	241,6	202,2	131,5	758,9	
<b>Total</b>		<b>241,6</b>	<b>335,5</b>	<b>230,4</b>	<b>758,9</b>	<b>1336</b>

Tableau 1 Synthèse des potentiels

Dans le domaine de la chaleur, il est fait état d'un potentiel technique de 133 GWh/an. Environ 99 GWh/an semblent réalistes sur le plan économique selon les conditions-cadres actuelles. À titre de comparaison : les besoins thermiques actuels en Suisse pour le chauffage et l'eau chaude représentent env. 85'000 GWh/an. La totalité des besoins thermiques actuels des ET n'est pas connue.

Dans le domaine de l'électricité, seul un potentiel théorique a pu être déterminé au niveau de quatre applications, à savoir 242 GWh/an. L'utilisation des zones de manœuvre et des zones ferroviaires ainsi que des espaces verts attenants avec des applications photovoltaïques générerait un potentiel théorique supplémentaire de 759 GWh (visions de l'électricité photovoltaïque). La somme des potentiels techniques de toutes les autres applications représente 202 GWh/an. Environ 132 GWh/an semblent réalistes sur le plan économique selon les conditions-cadres actuelles.

**Le potentiel global établi et en grande partie théorique, visions incluses, pourrait permettre de produire 1,34 TWh/an d'électricité renouvelable. En théorie, les transports publics pourraient donc contribuer à hauteur de 6 % aux objectifs de développement pour la nouvelle électricité renouvelable de 22,8 TWh/an conformément aux perspectives énergétiques 2050. La consommation énergétique globale des transports publics représente env.**





**4 TWh, dont près de 50 %, soit 2 TWh, sont d'ores et déjà renouvelables. Le potentiel global théorique de production d'électricité et de chaleur de 1,34 TWh déterminé dans le cadre de cette étude pourrait couvrir les deux tiers de la consommation énergétique totale actuellement non renouvelable des transports publics. Et ce, sans tenir compte du potentiel des mesures d'efficacité.**

## Mesures : recommandations à l'OFT

Les informations recueillies dans le cadre des sondages et de l'évaluation des potentiels ont servi de base pour formuler des mesures. Par ailleurs, un atelier a été organisé avec des représentants d'ET et des mesures potentielles ont été abordées. La liste de mesures a ensuite été complétée sur la base de nouveaux éléments résultant de l'atelier (Tableau 2 signalés par « Mesure résultant de l'atelier »). Les participants ont attribué des notes aux mesures déjà existantes au moment de l'atelier<sup>1</sup>.

La liste de mesures est complète et a été formulée *en tant que proposition* à l'attention de l'OFT. La mise en œuvre permet à l'OFT d'aider les ET à apporter leur contribution à la stratégie énergétique 2050 de la Confédération et à exploiter le potentiel existant.

Tableau 2 : Liste de mesures

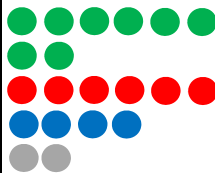


M1	Transmission de connaissances techniques et communication		
MES N°	Intitulé de la mesure	Idée	Points <sup>2</sup>
M1.1	Communication régulière des programmes existants aux ET	Faire mieux connaître les programmes Déclencher des projets	Mesure résultant de l'atelier <sup>3</sup>
M1.2	Définir <b>un</b> interlocuteur auprès de la Confédération (OFT) pour les ET	Proposer des structures claires Créer un climat de confiance	Mesure résultant de l'atelier <sup>3</sup>
M1.3	Mise en place et gestion d'un service spécialisé et d'accueil	Proposer un service d'accueil pour tous types de questions	
M1.4	Mise en place et gestion d'une offre en matière de conseil	Première assistance (gratuite) pour la planification et la mise en œuvre Offre complémentaire (payante) en matière de conseil	
M1.5	Mise en place d'un pool d'experts	Mise à la disposition des ET d'une liste de coordonnées d'experts possédant un savoir-faire spécifique	Mesure résultant de l'atelier <sup>3</sup>
M1.6	Mise en place et gestion d'une plate-forme d'événements et d'échange	Transmission de connaissances spécialisées Promotion du transfert de connaissances Fourniture de contacts	
M1.7	Publication et communication d'exemples de mise en œuvre pertinents	Identifier les démarches possibles	

<sup>1</sup> Chaque participant a reçu trois points, qu'il pouvait attribuer à la mesure la plus importante à ses yeux.

<sup>2</sup> Vert = représentants d'entreprises de chemins de fer, rouge = représentants d'entreprises de transport à câbles, bleu = représentants d'entreprises de transport par bus/tramway, gris = représentants d'offices fédéraux (OFT/OFEN)

<sup>3</sup> La liste de mesures a été complétée par d'autres mesures sur la base de nouveaux éléments résultant de l'atelier. Les mesures n'ayant été formulées qu'après l'atelier, elles n'ont pas pu être évaluées.

MES N°	Intitulé de la mesure	Idée	Points <sup>2</sup>
<b>M2</b>	<b>Mise à disposition de ressources</b>		
M2.1	Guide pour les concepts énergétiques standardisés pour les ET (y compris évaluation standardisée des potentiels)	Fournir une assistance Mettre en place une assurance qualité	● ●
M2.2	Modèles et fiches techniques sur la marche à suivre et les processus en cas de location d'espaces de toitures à des tiers	Simplifier les procédures Fournir une assistance	Mesure résultant de l'atelier <sup>3</sup>
<b>M3</b>	<b>Programmes de promotion et soutien financier</b>		
M3.1	Soutien financier pour l'élaboration de concepts énergétiques	Faciliter l'approche Mettre en place des mesures incitatives	● ● ● ● ●
M3.2	Soutien financier pour les projets pilotes et de démonstration ainsi que les projets phares sur la base des surcoûts non amortissables (à l'instar de l'OFEN)	Promouvoir le développement technologique Supprimer les obstacles aux investissements	● ● ● ●
M3.3	Soutien financier aux installations « normales »	Supprimer les obstacles aux investissements	Mesure résultant de l'atelier <sup>3</sup>
M3.4	Aide financière aux coûts d'investissement sur le modèle de la RU	Supprimer les obstacles aux investissements	● ● ● ●
M3.5	RU/RPC pour le réseau de courant de traction	Supprimer les obstacles aux investissements	Mesure résultant de l'atelier <sup>3</sup>

<b>M4</b>	<b>Obstacles dans le cadre des procédures d'autorisation, accords de prestations, processus</b>		
<b>MES N°</b>	<b>Intitulé de la mesure</b>	<b>Idée</b>	<b>Points<sup>2</sup></b>
M4.1	Suppression des obstacles existants dans le cadre des procédures d'autorisation, simplification des dispositions et processus, réduction des procédures	Simplifier les procédures Suppression des obstacles	
M4.2	Adaptation de l'accord de prestations avec les ET, compléments à la production d'énergies renouvelables	Créer une certaine légitimité Créer un sentiment d'obligation	Mesure résultant de l'atelier <sup>3</sup>
M4.3	Adaptation des processus auprès de l'OFT (listes de mesures), par exemple dans le domaine de la rénovation des toitures de quais	Intégrer la production d'énergies renouvelables dans les processus	Mesure résultant de l'atelier <sup>3</sup>
<b>M5</b>	<b>Base de données centrale d'indices énergétiques</b>		
M5.1	Base de données centrale d'indices énergétiques des ET (chaleur et électricité)	Souligner le développement	
<b>M6</b>	<b>Label / certificats pour les ET exemplaires</b>		
M6.1	Label / certificats pour les ET exemplaires	Créer des mesures incitatives Permettre la commercialisation	

## Glossaire (abréviations/déf.)

Best Practice	Exemplaire
CFF	Chemins de fer fédéraux suisses
ET	Entreprise de transport
FHNW	Haute École Spécialisée de la Suisse du Nord-Ouest
GC-EEC	Groupe de coordination Exemplarité énergétique de la Confédération
GWh/an	Gigawattheures par an : quantité d'énergie (chaleur ou électricité) produite ou consommée chaque année
Installation PV	Installation photovoltaïque
KBOB	Conférence de coordination des services de la construction et des , immeubles des maîtres d'ouvrage publics
kW <sub>p</sub>	Kilowatt peak : Indication de la puissance de pointe installée des installations photovoltaïques
OFT	Office fédéral des transports
OFEN	Office fédéral de l'énergie
PV	Électricité photovoltaïque
Réduction de CO <sub>2</sub>	Réduction des émissions de gaz à effet de serre pour contribuer à la protection du climat
RPC	Rétribution à prix coûtant du courant injecté, instrument d'encouragement de la Confédération pour la rétribution de l'électricité renouvelable injectée dans le réseau
SETP 2050	Stratégie énergétique 2050 dans les transports publics
TP	Transports publics
ZHAW	Université des Sciences Appliquées de Zurich

## Mentions légales

Zurich, 7 mars 2017

Auteurs :

Amstein+Walthert AG : Stefan Brändle, Nathalie Benkert,  
Nora Herbst

Groupe d'accompagnement :

Office fédéral des transports OFT : Tristan Chevroulet,  
Stefan Schnell

Programme Office SETP 2050 : François Bauer

Seul les auteurs sont responsables du contenu et des conclusions de ce rapport.