

# CONFÉRENCE SUISSE SUR LA RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 2016:

RECUEIL DE FEUILLES D'INFORMATION

---



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

# LE RÔLE DE L'OFEN DANS L'ENCOURAGE- MENT DE LA RECHERCHE

+ POUR PLUS D'INFORMATIONS:

## OFFICE FÉDÉRAL DE L'ÉNERGIE (OFEN)

Section Recherche énergétique

energieforschung@bfe.admin.ch

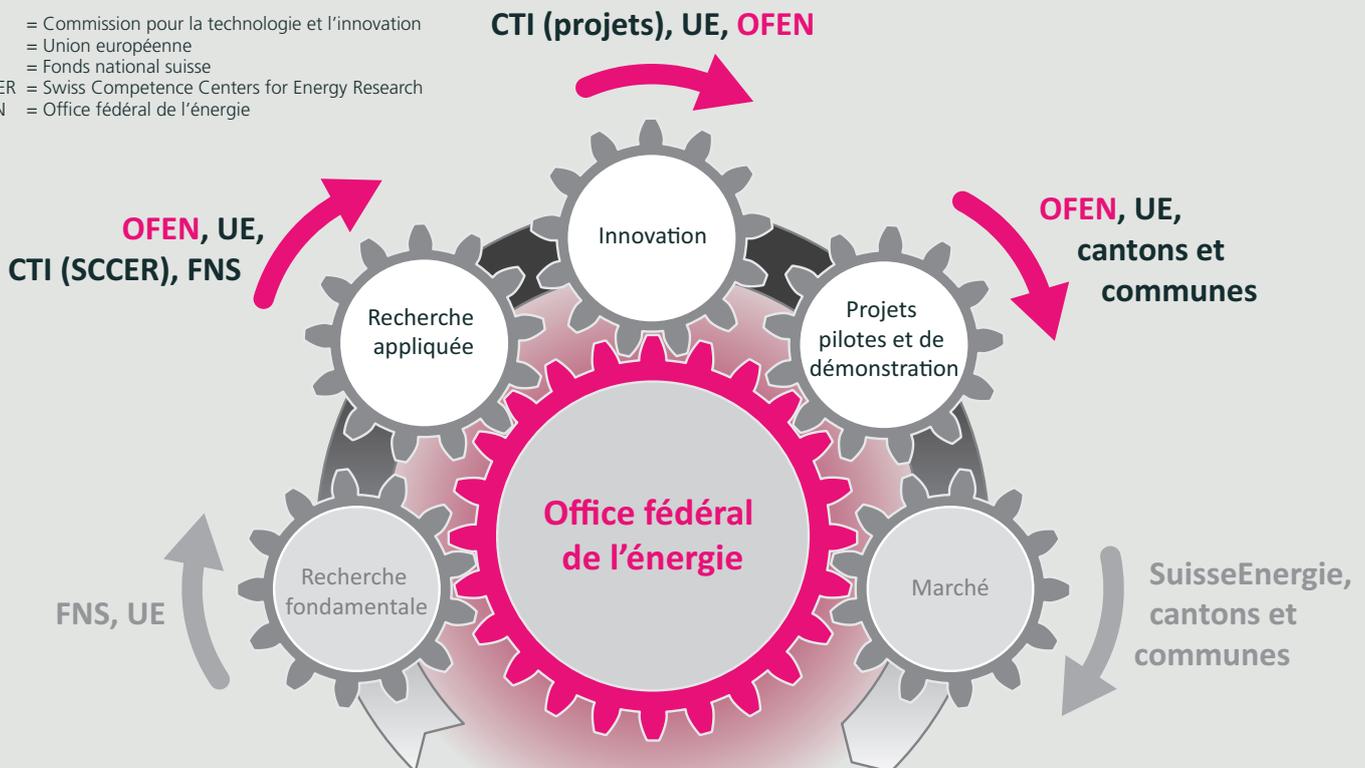
www.energieforschung.ch

## ► INTRODUCTION

La capacité à développer de nouvelles idées et à les commercialiser constitue un facteur essentiel de la compétitivité d'une économie nationale. La recherche est l'élément clé dans ce contexte: elle est à l'origine des nouvelles idées et découvertes qui, à leur tour, donnent naissance à des produits novateurs et concurrentiels. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) assume des tâches de coordination centrales au niveau de la recherche et de l'innovation dans le domaine énergétique. Il est en contact étroit avec l'ensemble des acteurs de l'encouragement tout au long de la chaîne de création de valeur, veillant ainsi au progrès continu de la connaissance et à la mise en application concrète de celle-ci.

## ► COORDINATION NATIONALE

CTI = Commission pour la technologie et l'innovation  
UE = Union européenne  
FNS = Fonds national suisse  
SCCER = Swiss Competence Centers for Energy Research  
OFEN = Office fédéral de l'énergie



## OFEN – PROGRAMMES DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE

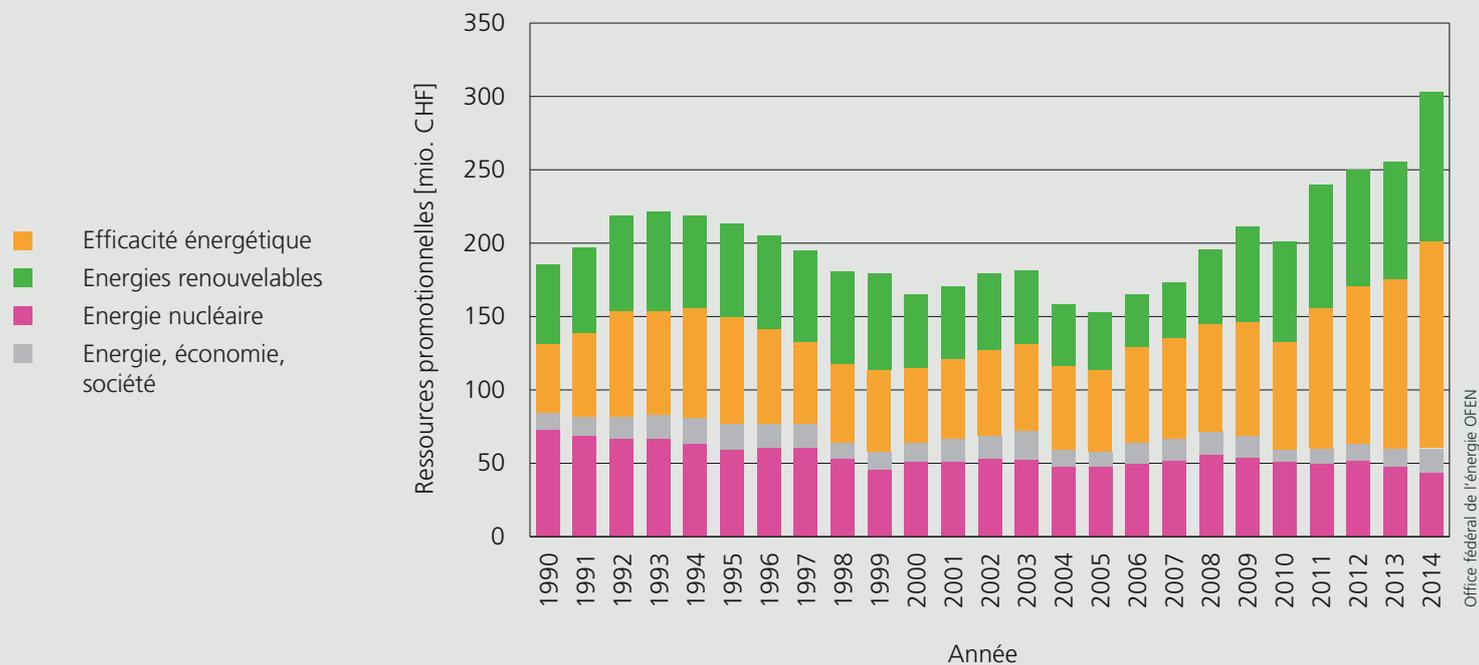
### EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

-  Bâtiments et villes
-  Mobilité
-  Technologie des procédés
-  Réseaux
-  Technologies de l'électricité
-  Systèmes énergétiques basés sur la combustion
-  Piles à combustible

### ÉNERGIES RENOUVELABLES

-  Hydrogène
-  Photovoltaïque
-  Énergie solaire thermique à haute température
-  Chaleur solaire et stockage de chaleur
-  Pompes à chaleur
-  Bioénergie
-  Force hydraulique
-  Géothermie
-  Énergie éolienne

## DÉVELOPPEMENT DES SUBVENTIONS DEPUIS 2014



## SOCIÉTÉ & ÉCONOMIE

 Énergie – économie – société

 Gestion des déchets nucléaires

 Barrages

L'OFEN collabore étroitement avec les principaux organes publics d'encouragement compétitifs afin de soutenir et de coordonner la recherche et l'innovation dans le domaine énergétique sur un large segment de la chaîne de création de valeur. Il adopte une approche programmatique et subsidiaire, qui repose sur le Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération. Outre la constitution de réseaux nationaux, la transmission active des connaissances et les échanges internationaux constituent également des domaines d'action prioritaires.

### ▶ PROJETS PILOTES, PROJETS DE DÉMONSTRATION ET PROJETS PHARES

---

L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) encourage la recherche orientée vers les applications. Il comprend aussi bien la recherche scientifique que les projets pilotes, les projets de démonstration et les projets phares favorisant l'utilisation économe et rationnelle de l'énergie ou le recours aux énergies renouvelables.

### ▶ PROGRAMME NATIONAUX DE RECHERCHE (PNR)

---

Le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) soutient la recherche fondamentale sur mandat de la Confédération dans toutes les disciplines scientifiques. Dans le cadre des programmes nationaux de recherche (PNR) sont menés des projets de recherche qui contribuent à résoudre d'importants problèmes actuels. Dans le domaine de l'énergie, le PNR 70 («Virage énergétique») et le PNR 71 («Gérer la consommation d'énergie») sont actuellement en cours. Le FNS soutient en outre des postes de professeurs boursiers: 24 millions de francs ont été alloués à cet effet dans le domaine de l'énergie pour la période 2013–2016, dans le cadre du plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée».

### ▶ COMMISSION POUR LA TECHNOLOGIE ET L'INNOVATION (CTI)

---

La CTI est l'agence de la Confédération pour la promotion de l'innovation. Elle est compétente pour soutenir l'innovation basée sur la science, en Suisse, au moyen de contributions financières, de conseils professionnels et de ses réseaux. Durant la période 2013-2016, la recherche énergétique est au cœur de son attention. La CTI finance et pilote la mise sur pied des pôles de compétence suisses en recherche énergétique (Swiss Competence Centers for Energy Research, SCCER), à hauteur de 72 millions de francs et elle soutient, avec 46 millions de francs supplémentaires, les projets de recherche et de développement dans le domaine de l'énergie.

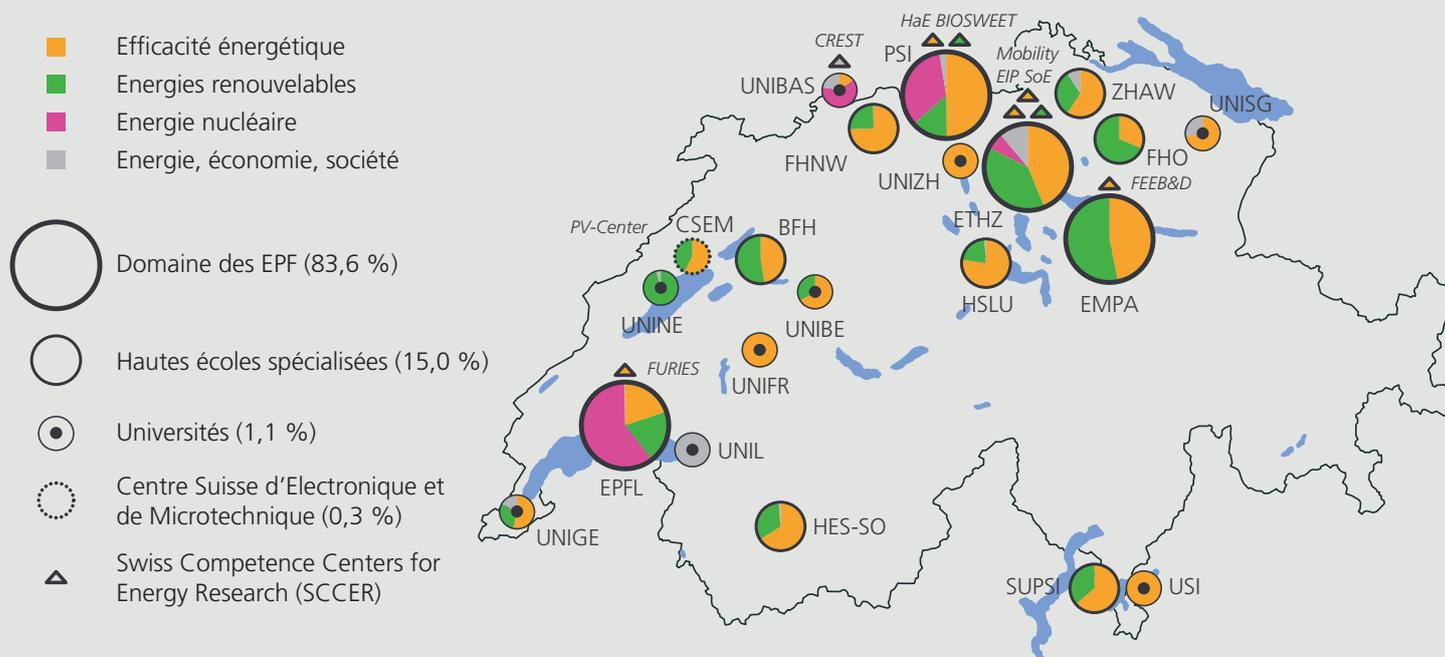
### ▶ PÔLES DE COMPÉTENCE SUISSES EN RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE (SCCER)

---

Les huit SCCER étudient les solutions contribuant à réorganiser le système énergétique. Ils conduisent des recherches orientées vers les applications et les solutions et garantissent le transfert des résultats de recherche dans le marché.

## ► PAYSAGE DE LA RECHERCHE EN SUISSE

### DÉPENSES DES HAUTES ÉCOLES SUISSES EN 2013 (ENV. CHF 256,9 MIO.)



## ► CONTEXTE INTERNATIONAL



La coopération internationale en matière de recherche énergétique occupe une place importante en Suisse. Ainsi, l'OFEN représente celle-ci dans différents Technology Collaboration Programmes de l'AIE (Implementing Agreements). Au niveau européen, la

Suisse participe activement aux programmes de recherche de l'UE. Dans ce contexte, l'OFEN est chargé de la coordination institutionnelle de la recherche énergétique avec le Plan stratégique pour les technologies énergétiques de l'UE (Plan SET) et les réseaux de l'Espace européen de recherche (ERA-NET).

La coopération internationale permet d'exploiter des synergies, d'éviter des doublons et de situer les thèmes de recherche dans un contexte plus large. En ce sens, la coopération au sein de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et des programmes de recherche de l'Union européenne (p. ex. Horizon 2020) revêt une importance particulière. La Suisse participe aujourd'hui à plus de la moitié des 39 programmes de recherche de l'AIE. A ce titre, elle investit chaque année près de 1,25 millions de francs. De plus, l'OFEN conduit actuellement les cinq programmes de recherche suivants de l'AIE : Energie dans les bâtiments et les communes, Hydrogène, Systèmes photovoltaïques, Pompes à chaleur, Technologies des véhicules hybrides et électriques.



30 ans  
R+D

# L'ÉLECTRICITÉ PHOTOVOLTAÏQUE: AU-DELÀ DES ATTENTES

## ► L'HISTOIRE DU SUCCÈS DU PHOTOVOLTAÏQUE ET QUELQUES ÉTAPES SUISSES

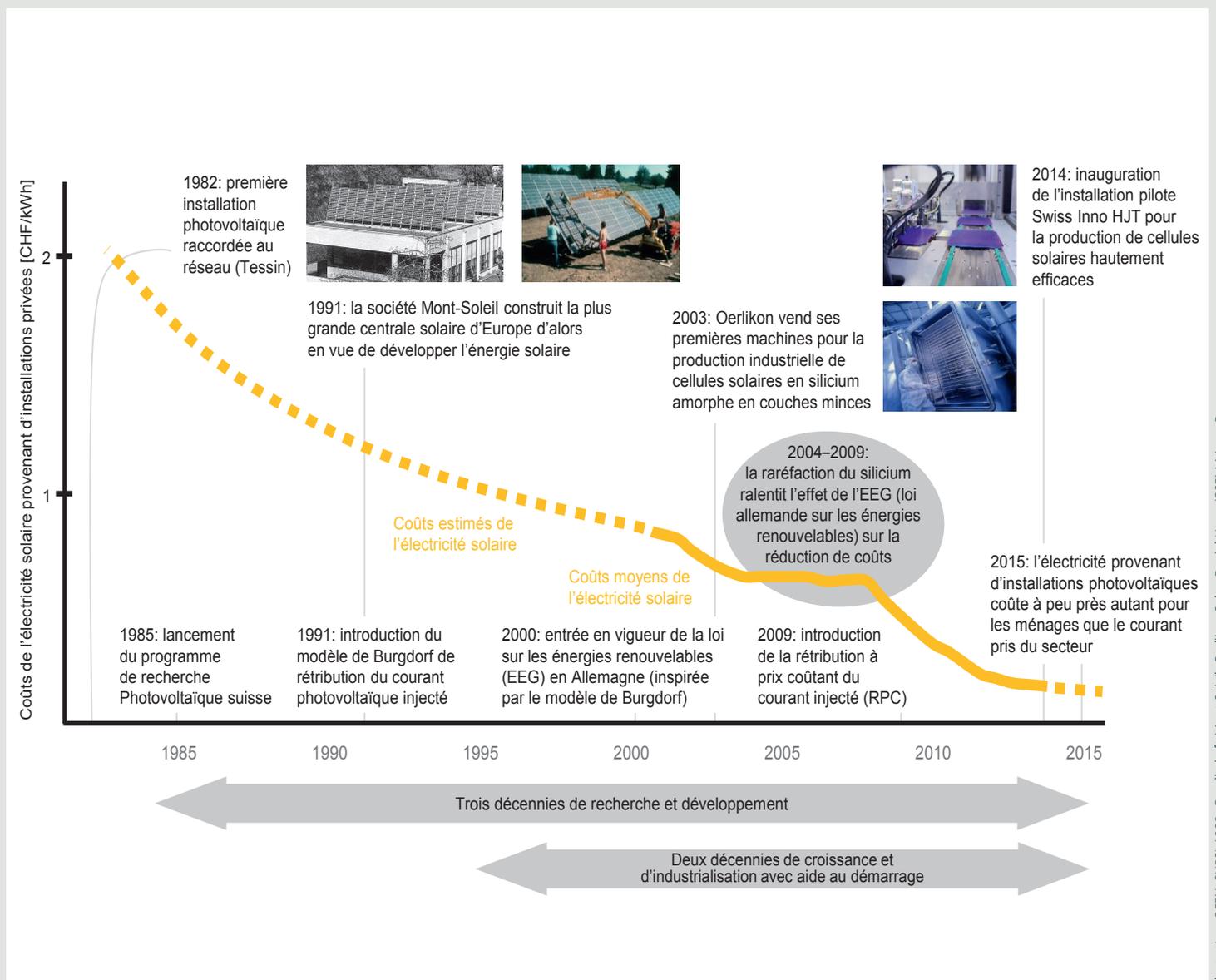


Illustration: OFEN; SUPSI-1982; Gesellschaft Mont-Soleil; Oerlikon Solar; Daniel Hager/CSEM-Meyer Burger



## + POUR EN SAVOIR PLUS :

### TWITTER

[www.twitter.com/bfecleantech](http://www.twitter.com/bfecleantech)

.....

### CONTACT

[cleantech@bfe.admin.ch](mailto:cleantech@bfe.admin.ch)

[energieforschung@bfe.admin.ch](mailto:energieforschung@bfe.admin.ch)

## ▶ INNOVATIONS PHOTOVOLTAÏQUES POUR LE MARCHÉ

---

L'électricité solaire a conquis la Suisse, qui a multiplié par dix sa production d'électricité photovoltaïque au cours des cinq dernières années. Quelque 48 000 installations décentralisées fournissent l'électricité nécessaire pour approvisionner 210 000 ménages, couvrant ainsi 2% des besoins de la Suisse en électricité.

Trois décennies de recherche et développement (R&D) ont préparé la voie à ce type de production d'énergie durable dans le pays. Pendant cette période, les coûts de l'électricité solaire ont été divisés par dix et ne s'élèvent aujourd'hui plus qu'à 19 centimes le kilowattheure en moyenne (nouvelles installations; état: octobre 2015).

## ▶ RÉSEAU DE R&D ÉTENDU

---

Depuis de nombreuses années, le domaine des EPF, les HES, les universités et le centre de compétence en photovoltaïque du Centre suisse d'électronique et de microtechnique (CSEM) sont autant d'instituts de recherche suisses à la pointe en matière de technologie photovoltaïque. Le FNS, la CTI et l'OFEN encouragent le développement du photovoltaïque depuis les années 80 avec des projets de recherche et des projets pilotes et de démonstration. Mais les nombreux projets innovants menés par des pionniers privés de l'énergie solaire jouent également un rôle décisif dans ce développement, à l'exemple de ces façades équipées de modules photovoltaïques lors de l'assainissement de deux immeubles-tours à la Sihlweidstrasse à Zurich (cf. photo).

## ▶ ENTREPRISES SUISSES EN TÊTE

---

Malgré la rude concurrence internationale, les entreprises suisses sont bien positionnées tout au long de la chaîne de création de valeur du photovoltaïque. Elles livrent des matériaux et des composants, fabriquent des onduleurs et fournissent des systèmes d'installation, des unités de production et des logiciels spécifiques. Grâce à une R&D intensive et à un solide réseau d'instituts de recherche de pointe, elles sont concurrentielles sur les marchés d'exportation. La branche suisse du photovoltaïque réalise un chiffre d'affaires d'environ 1 milliard de francs et représente 6000 postes à plein temps. Contrairement aux énergies fossiles et à l'électricité importée, l'énergie produite par les installations photovoltaïques suisses est en grande partie *swiss made*; plus de la moitié de la valeur ajoutée reste en Suisse et participe à la création d'emplois.



Photo: Gataric



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

## RÉSEAUX & COMPOSANTS

### ▶ DONNÉES CLÉS

#### ▶ DURÉE DU PROJET

01.2017–12.2020

#### ▶ SPONSORS

OFEN	BKW
CTI	ABB
FNS	SwissGas
SwissGrid	Alpiq
Axpo	NEPLAN

#### ▶ PARTENAIRES ACADÉMIQUES ET DE COOPÉRATION

ETHZ-PSL	ETHZ-RRE
ETHZ-FEN	UniBasel-FoNEW
ETHZ-LEC	USI-ICS
ETHZ-IKG	ZHAW

### ▶ PRINCIPAUX OBJECTIFS

Fournir des instruments de simulation pour analyser et développer des réseaux énergétiques à faible inertie et faisant la part large aux sources d'énergie renouvelable, évaluer quantitativement le potentiel du marché local et international, proposer de nouvelles méthodes de gestion de l'énergie, évaluer les options de planification visant une production et un stockage alternatif de l'électricité plus flexible et identifier les risques inhérents à l'exploitation des réseaux électriques face aux défis à venir.

### ▶ POWER2GAS / INTÉGRATION DU RÉSEAU

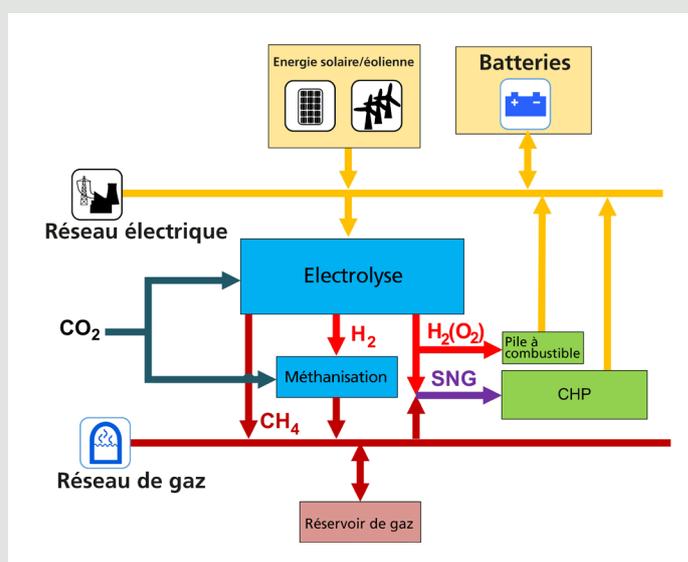


Figure: CCEM Renerg2 project

### ▶ LIEN AVEC D'AUTRES PROJETS

Les partenaires coopèrent étroitement avec le SCCER-CREST et le SCCER-HAE pour assurer la cohérence des structures de marché évaluées et garantir un lien direct avec les activités inter-SCCER concernant les scénarios et prévisions. Une coopération internationale est en outre envisagée pour identifier les besoins en données de mesure et de communication dans l'exploitation des systèmes électriques.

## + POUR EN SAVOIR PLUS :

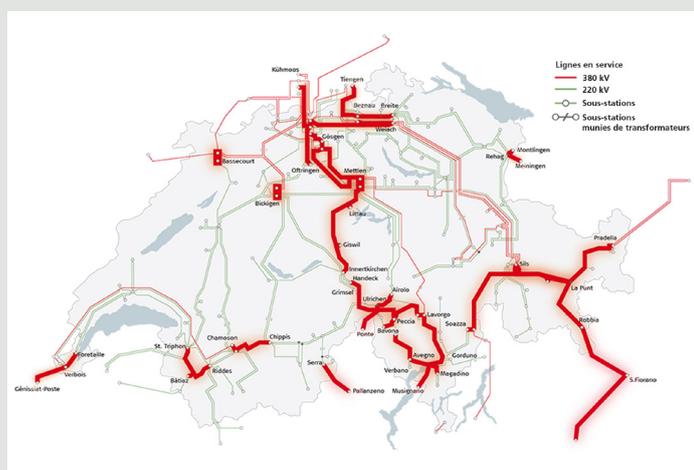
### HAUTE ÉCOLE SPÉCIALISÉE DE ZÜRICH (ZHAW)

Prof. Dr. Petr Korba  
korb@zhaw.ch

## ▶ AUTRES OBJECTIFS

La désaffectation prévue des centrales nucléaires suisses et la pénétration considérablement accrue des énergies renouvelables en Suisse et dans les pays voisins requiert que l'on étudie des voies technologiques inédites pour produire, stocker et distribuer l'énergie électrique de manière flexible. Dans cette perspective, il est nécessaire de procéder à une véritable évaluation des bénéfices économiques des différents mécanismes structurels du marché, afin d'obtenir une évaluation quantitative des réseaux électriques suisses et européens. En outre, il faut identifier et évaluer les risques d'exploitation des réseaux électriques liés à : (a) la dépendance de la sécurité du réseau, basée sur les mesures en temps réel fournies par l'infrastructure de communication et (b) la diversité des portefeuilles de ressources énergétiques primaires dans le futur système énergétique de la Suisse.

## ▶ CONGESTIONS



Source: Swissgrid

## ▶ RÉSULTATS OBTENUS

- 1) Evaluation des systèmes énergétiques actuel et futur de la Suisse, compte tenu de la part croissante des sources d'énergie renouvelable.
- 2) Identification des extensions de réseau requises, y compris les nouvelles lignes et le stockage de l'énergie.
- 3) Evaluation des futurs aspects techniques et économiques du système énergétique suisse.
- 4) Evaluation de la vulnérabilité et de la sécurité et des mesures correctives visant à atténuer la propagation des défaillances.

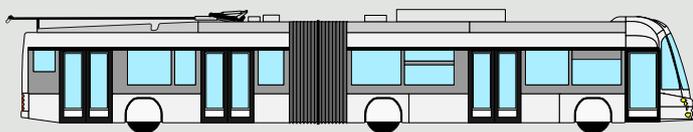


Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

Un véhicule  
de conception  
inédite

# SWISS- TROLLEY+



+ POUR EN SAVOIR PLUS :

## HESS CARROSSERIE SA

Hans-Jörg Gisler  
hans-joerg.gisler@hess-ag.ch

## BFH-TI

Prof. Andrea Vezzini  
andrea.vezzini@bfh.ch

## EPF DE ZURICH

Prof. Christopher Onder  
onder@idsc.mavt.ethz.ch

## ▶ DONNÉES CLÉS

### ➤ DURÉE DU PROJET

05.2015–04.2019

### ➤ PARTIE CONTRACTANTE

HESS Carrosserie AG

### ➤ PARTENARIAT



PROGRAMME  
PHARE



## ▶ SWISSTROLLEY+, UN VÉHICULE COMPLÈTEMENT ÉLECTRIQUE



Image: SwissTrolley+

## ▶ OBJECTIFS

Les trolleybus à la pointe de la technique ont besoin d'un moteur diesel auxiliaire (groupe auxiliaire de puissance, APU) pour assurer la manœuvrabilité en cas de panne de courant. Même s'il n'est utilisé que rarement, ce moteur accroît le poids du véhicule et, partant, sa consommation énergétique. Lorsqu'il est effectivement utilisé, le groupe auxiliaire, qui est sous-proportionné, fonctionne principalement en mode départ à froid, ce qui produit énormément de bruit et d'émissions polluantes. L'objectif de SwissTrolley+ est d'éviter ces défauts en remplaçant l'APU par une batterie de traction à haute performance.

L'EPFZ a pour objectif de développer un système de contrôle du bilan énergétique d'un trolleybus. La tâche de la BFH-TI est notamment de tester la durée de vie de la batterie et de développer un modèle d'autonomie de la batterie qui sera intégré dans le système de gestion de l'énergie.

## ▶ DÉFIS

Le SwissTrolley+ a deux sources d'énergie: le réseau électrique et la batterie de traction. Pendant son exploitation, la demande d'énergie est principalement définie par le conducteur. Cependant, cette double source d'énergie fournit un nouveau degré de liberté: à tout moment, le système de gestion énergétique du véhicule doit décider s'il faut soutirer du courant du réseau électrique ou de la batterie. Une expertise en théorie des systèmes de contrôle est nécessaire pour permettre de décider comment « séparer » la demande de courant entre les sources d'électricité. Le système de gestion de l'énergie sera développé de manière à actionner la pile consciemment afin de maximiser sa durée de vie. De ce fait, le développement de modèles de durée de vie des batteries très précis est préjudiciable à une utilisation optimisée de la batterie et constitue en soi une tâche très exigeante.



## ▶ OBJECTIFS DU PROJET

### LES OBJECTIFS DU PROJET SONT LES SUIVANTS :

- Réduire le bruit et les émissions polluantes
- Améliorer l'efficacité énergétique grâce à un moteur et à une gestion de l'énergie inédits
- Permettre au trolleybus de se déplacer sans caténaire
- Permettre à la batterie de fonctionner avec le réseau de courant continu
- Réduire les coûts d'entretien en n'utilisant pas le réseau de caténaires
- Assurer une durée de vie de la pile > 10 ans grâce à une utilisation consciente de celle-ci

## ▶ CONCEPTION DU SWISSTROLLEY+

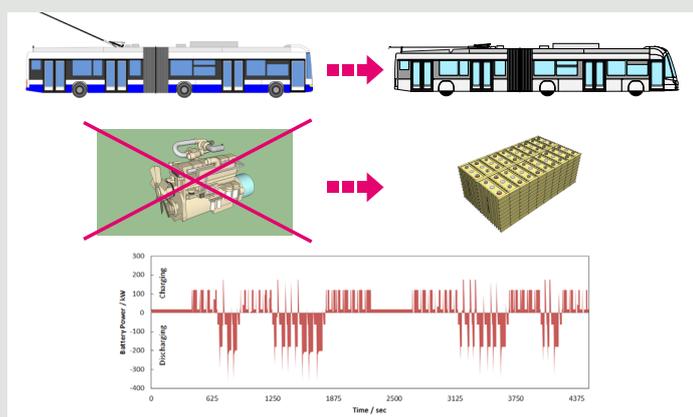


Figure: conception énergétique

## ▶ STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

### RÉDUCTION DE LA DEMANDE ÉNERGÉTIQUE DE 15%

- Le freinage par récupération est toujours possible
- Stratégie de gestion énergétique prédictive optimale

### SYSTÈMES DE CHAUFFAGE ET DE CLIMATISATION OPTIMISÉS

- Le système HVAC équivaut à env. 50% de la demande énergétique totale du véhicule

### MODÈLES DE DURÉE DE VIE DE LA PILE

- Incitations aux ingénieurs et décideurs pour des modèles d'affaires inédits

### RÉDUCTION DES CHARGES DE POINTE SUR LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE

- Réduction de l'énergie requise pour stabiliser le réseau
- La charge de pointe est un facteur dans la fixation du prix de l'électricité

## ▶ PREMIERS RÉSULTATS

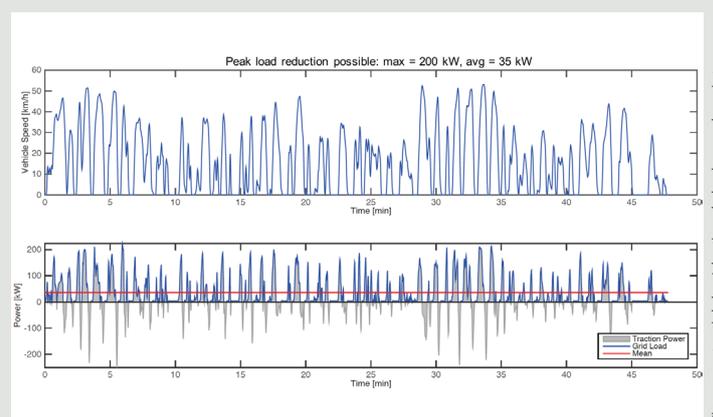


Figure: potentiel de réduction de la charge de pointe

# OPTIMISATION DES PROCESSUS D'UNE INSTALLATION FRIGORIFIQUE AU CO<sub>2</sub> PAR DES ÉJECTEURS

## ▶ DONNÉES CLÉS

### ▶ DURÉE DU PROJET

05.2014–12.2015

### ▶ MAÎTRE DE L'OUVRAGE

Coopérative Migros de Lucerne

### ▶ REPRÉSENTATION DU MAÎTRE DE L'OUVRAGE

Frigo-Consulting SA, Gümliigen Berne

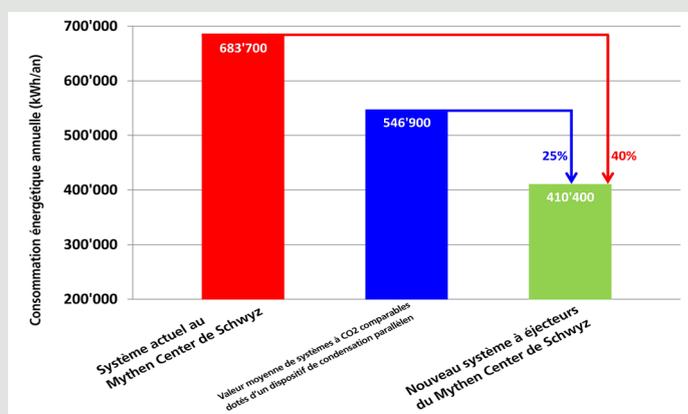
### ▶ PARTENARIATS

Office fédéral de l'énergie  
Alpiq Intec West

## ▶ PRINCIPAL OBJECTIF

Un test sur le terrain devrait permettre de démontrer les possibilités des éjecteurs dans une installation frigorifique au CO<sub>2</sub> transcritique. La production de froid revendique aujourd'hui environ 40% de la consommation énergétique d'un supermarché. Grâce au recours aux éjecteurs et à une technique ultra-moderne, le magasin Migros du « Mythen Center » de Schwyz réalisera une économie d'énergie de 25% par rapport aux installations frigorifiques comparables. Ce progrès spectaculaire est dû à l'intégration raffinée de cinq éjecteurs. Ceux-ci réutilisent directement dans le système l'énergie d'expansion qui était perdue à ce stade. En outre, le recours au CO<sub>2</sub> comme réfrigérant réduit les émissions directes de CO<sub>2</sub> d'un facteur supérieur à mille fois celui des réfrigérants synthétiques comparables.

## ▶ APERÇU DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE



Comparaison de la consommation énergétique

## ▶ LIEN AVEC D'AUTRES PROJETS

Dès l'automne 2013, la pierre angulaire de cette technologie a été posée à Migros Bulle, dans le cadre d'un projet précurseur mené en coopération avec l'Office fédéral de l'énergie. Grâce à la première installation frigorifique transcritique au monde dotée de plusieurs éjecteurs, les économies d'énergie étaient déjà de 15% par rapport aux installations frigorifiques à CO<sub>2</sub> transcritiques traditionnelles qui répondent au niveau technologique actuel. Les expériences engrangées dans le cadre de ce projet ont permis des développements en matière de conception et de gestion qui ont été mis en œuvre dans la nouvelle installation au « Mythen Center » de Migros.

## + POUR EN SAVOIR PLUS :

### FRIGO-CONSULTING

#### JONAS SCHÖNENBERGER

Feldstrasse 30

3073 Gümligen, Berne

T: +41 (0)31 996 48 48 | info@frigoconsulting.ch

## ▶ AUTRES OBJECTIFS, PROCÉDURE

L'objectif est de mettre cette technologie en œuvre dans d'autres projets, de promouvoir la confiance du marché et de réduire encore les coûts d'investissement. La demande croissante de tels systèmes devrait inciter d'autres fabricants à incorporer des éjecteurs dans leur offre. A l'avenir, les installations frigorifiques au CO<sub>2</sub> dotées d'éjecteurs disponibles dans le commerce du froid seront meilleur marché que toutes les alternatives proposées. Ce progrès est rendu possible par les économies d'énergie obtenues et par la réduction possible de la taille des installations à performance constante.

## ▶ L'ÉJECTEUR



Gros plan d'un éjecteur

## ▶ STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

Un supermarché moyen de la taille de la Migros du « Mythen Center » consomme environ 546'000 kWh par an (extrapolation). L'installation du « Mythen Center » nécessite 410'400 kWh par an pour le même apport en froid. Il s'agit d'une économie annuelle de 137'000 kWh.

Avec environ 3750 supermarchés en Suisse et une consommation annuelle moyenne de 250'000 kWh par magasin (extrapolation), l'économie d'énergie d'environ 20%, permise par la technologie des éjecteurs permettrait d'économiser quelque 190 GWh d'énergie électrique par an, soit environ 7% de la production de la centrale nucléaire de Mühleberg ou la production d'une surface de panneaux solaires de 1,5 km<sup>2</sup>.

## ▶ RÉSULTATS À CE STADE

L'été très chaud de 2015 a déjà soumis l'installation à des conditions extrêmement difficiles. Elle fonctionne depuis un an sans problèmes techniques et a permis une économie d'énergie de l'ordre de 25%.

La technologie des éjecteurs décharge le système, ce qui se reflète en partie dans les gains d'efficacité mentionnés mais qui entraîne aussi une plus grande longévité des composants en réduisant le nombre de cycles d'enclenchement.



Quelle option par défaut utiliser ?

# VERT PAR DÉFAUT ?

## EFFETS SUR LA PROSPÉRITÉ DES CONTRATS D'ÉLECTRICITÉ VERTE PAR DÉFAUT

+ POUR EN SAVOIR PLUS :

ECOLE POLYTECHNIQUE DE ZURICH (EPFZ)

Institute for Environmental Decisions (IED)

Chair of Economics | [www.econ.ethz.ch](http://www.econ.ethz.ch)



Prof. Renate Schubert | [schubert@econ.gess.ethz.ch](mailto:schubert@econ.gess.ethz.ch)

Claus Ghesla | [claus.ghesla@econ.gess.ethz.ch](mailto:claus.ghesla@econ.gess.ethz.ch)

Pour la version en clair, cf. code QR.

### ▶ DONNÉES DE BASE DU PROJET

#### ▶ DURÉE DU PROJET

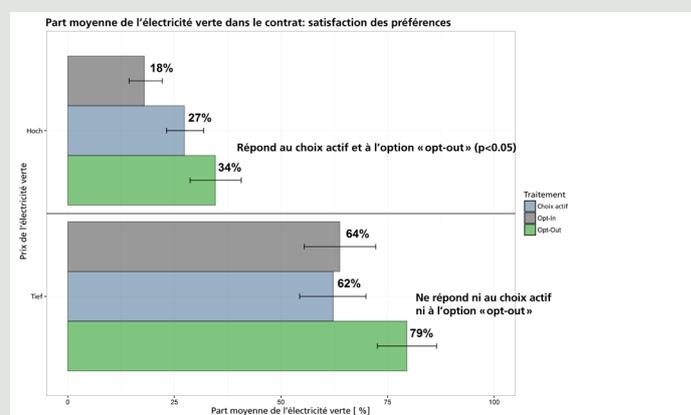
09.2014–05.2017

#### ▶ AUTORITÉ ADJUDICATRICE

Office fédéral de l'énergie

Programme de recherche Energie-Economie-Société (EES)  
Partie « Comportement du consommateur et expériences »

### ▶ SATISFACTION DES PRÉFÉRENCES



Choix actif (AC) : sans option par défaut

Figure - Satisfaction des préférences

### ▶ PRINCIPAUX OBJECTIFS

Plusieurs sociétés de services publics proposent des **contrats de fourniture d'électricité verte par défaut**. A première vue, ces options semblent connaître le succès, puisque les ménages qui les choisissent sont plus nombreux que si l'électricité conventionnelle est proposée par défaut. Cependant, on ne trouve guère de preuves que ces **options vertes par défaut aient un effet sur le bien-être**. Le présent projet vise à évaluer trois types d'inefficacité potentiels : les options par défaut peuvent générer **(1)** un décalage entre les mix d'électricité préférés et commandés, **(2)** des effets de distribution indésirés et même **(3)** des inefficacités environnementales. Cette fiche vise le premier type de ces inefficacités potentielles.

### ▶ RÉSULTATS

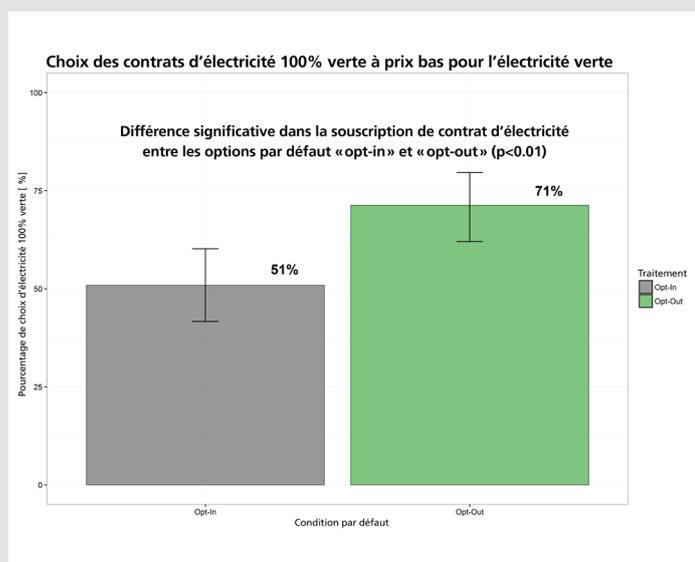
Les sujets témoignent d'une préférence substantielle pour l'électricité verte. La figure « *L'effet de l'option par défaut* » montre que les sujets sont plus nombreux à choisir un contrat avec 100% d'électricité verte s'il est présenté par défaut (opt-out). Ces observations illustrent bien la situation sur les marchés de l'électricité. La figure « *Satisfaction des préférences* » présente les parts moyennes d'électricité verte pour les différents types de contrat selon les traitements. La moitié supérieure concerne des prix élevés de l'électricité verte, tandis que la moitié inférieure concerne des prix bas de l'électricité verte. On constate deux choses : **(1)** Les options par défaut d'électricité verte à bas prix couramment utilisées **ne répondent pas** aux préférences des individus : les sujets demandent significativement plus d'électricité verte avec l'option « opt-out » que si leur choix est actif. **(2)** L'électricité verte par défaut à prix élevé **répond** aux préférences de l'individu. Cette option par défaut incite les sujets à choisir selon leurs préférences.



## ► PROCÉDURES

Le recours aux options par défaut est considéré comme légitime si les décisionnaires jugent y trouver un avantage. Par conséquent, les individus bénéficient d'une règle par défaut si elle correspond à leurs préférences et qu'elle les libère d'un choix actif. Nous recourons à une **expérience de laboratoire économique** pour étudier les préférences des individus en l'absence d'option par défaut (choix actif) et avec des options par défaut: possibilités d'accepter (opt-in) et de refuser (opt-out). Cette procédure permet d'analyser largement la satisfaction des préférences pour des prix variables de l'électricité verte.

## ► EFFET DE L'OPTION PAR DÉFAUT



Opt-In: contrat 100% conventionnel par défaut.

Opt-Out: contrat 100% vert par défaut.

## ► DÉFIS FUTURS

Les expériences de laboratoire économique conviennent pour étudier les mécanismes comportementaux. Les futures recherches (sur le terrain) pourront étudier le fonctionnement des options par défaut d'électricité verte à prix élevé dans un échantillon représentatif de la population. Le revenu, les facultés cognitives ou un bas niveau d'éducation peuvent jouer un rôle dans la prise de décision en présence d'une option par défaut. Les expériences futures étudieront l'importance de ces facteurs.

## ► STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

La présente recherche tente d'évaluer les coûts latents des options vertes par défaut et de déduire des recommandations de politique quant à une architecture de choix susceptible d'équilibrer les coûts potentiels et les bénéfices des contrats d'électricité. Quant à la Stratégie énergétique 2050, signalons deux implications principales: **(1)** l'analyse des données expérimentales sur l'efficacité des options par défaut fournira de nouveaux éléments sur **la conception des options par défaut** qui répondent aux préférences des gens; **(2)** cette recherche pourra indiquer comment **renforcer la demande volontaire d'énergies renouvelables à prix élevés** en utilisant les instruments de l'économie comportementale.



# SYSTÈME DE FENÊTRAGE NOVATEUR

## + CONTACT :

**ECOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE EPFL** Laboratoire d'Énergie Solaire et de Physique du Bâtiment LESO-PB

andreas.schueler@epfl.ch  
andre.kostro@epfl.ch

## ▶ DONNÉES CLÉS

### ➤ DURÉE DU PROJET

09.2013–12.2016

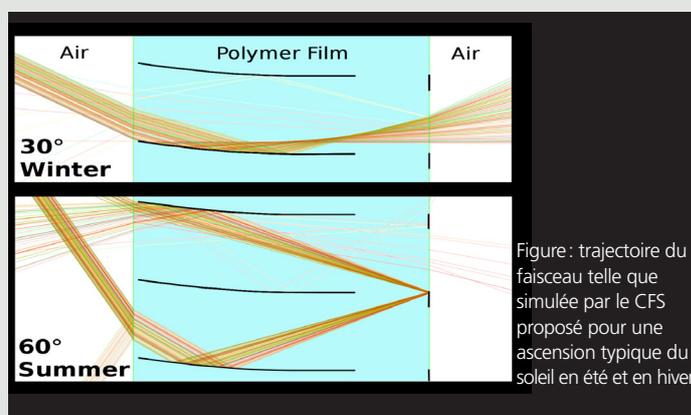
### ➤ ORGANISME DE FINANCEMENT

Office fédéral de l'énergie OFEN

### ➤ PARTENARIAT

OFEN  
EPFL  
BASF Suisse  
Solar Control SA

## ▶ SIMULATION DE LA TRAJECTOIRE DU FAISCEAU



## ▶ PRINCIPAL OBJECTIF

Le présent projet étudie des méthodes de production d'une microstructure intégrée inédite et brevetée. Les activités de recherche et de développement prévues dans le cadre du présent projet visent à préparer le développement et la production, à un coût raisonnable, du dispositif conçu et étudié dans le projet de l'OFEN intitulé « Integrated Multifunctional Glazing for Dynamic Daylighting ».

Ce nouveau vitrage combinera plusieurs fonctions :

- éclairage naturel
- protection contre l'éblouissement/confort visuel/vue claire
- protection contre la surchauffe en été
- apports solaires et isolation thermique en hiver

## ▶ DÉFIS

Le vitrage proposé, basé sur des micro-miroirs intégrés, représente une approche originale totalement inédite. La réalisation des nouvelles microstructures optiques requiert plusieurs étapes de fabrication inspirées des méthodes micro-technologiques existantes, mais qui doivent être adaptées aux exigences particulières : taille, ratio d'image et forme des structures, réplification efficace en termes de coûts, encapsulation transparente et compatibilité avec une mise en œuvre industrielle à large échelle.

De tels vitrages microstructurés auront de nouvelles propriétés optiques fascinantes, que les architectes et les ingénieurs doivent maîtriser pour créer des bâtiments énergétiquement efficaces et éclairés à la lumière naturelle.

## ▶ AUTRES OBJECTIFS, APPROCHE

- Etudier différentes possibilités de construire un moule microstructuré présentant une surface lisse
- Méthode de gravure susceptible de permettre le contrôle précis de la courbure et de l'angle d'inclinaison des surfaces
- Application d'une couche réfléchissante sur les microstructures et optimisation de sa réflectivité
- Choisir un polymère adapté à la production à large échelle (de rouleau à rouleau ou par extrusion), à une exposition au soleil sur le long terme et aux contraintes thermiques
- Le choix du polymère adapté à la production à large échelle sera discuté avec le partenaire industriel
- Etudier la technologie d'encapsulation pour les surfaces réfléchissantes
- Etudier les paramètres géométriques de l'éblouissement, afin de développer une solution qui puisse être adaptée à toute latitude

## ▶ RÉORIENTATION DE LA LUMIÈRE

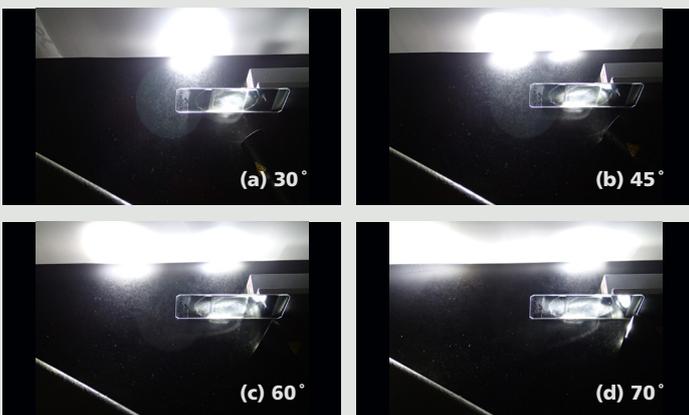


Figure: réorientation de la lumière par des miroirs courbes en aluminium intégrés dans de la résine, lorsqu'ils sont éclairés par une lampe-torche. La lampe-torche est placée dans la partie inférieure droite et l'angle du faisceau lumineux est modifié progressivement. Malgré la vue claire à travers le même échantillon lorsque l'incidence est normale, le faisceau lumineux est fortement redirigé si les angles d'incidence augmentent.

## ▶ STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

L'éclairage, le chauffage et la climatisation électriques des bâtiments revendent plus de 40% de l'énergie utilisée à l'échelle nationale. L'éclairage pèse pour 10% de la consommation électrique et le chauffage représente 46% de la consommation d'énergie fossile. La part de la réfrigération a augmenté au cours des dernières années.

Ce système de vitrage sophistiqué combine plusieurs fonctions et peut contribuer à réduire significativement la consommation énergétique dans les bâtiments dont les façades de verre sont orientées favorablement. En hiver, les apports solaires sont utilisés pour réduire les exigences énergétiques du chauffage. En été, le dispositif proposé bloque le rayonnement direct et limite ainsi tant la charge de climatisation que les risques de surchauffe. En outre, l'utilisation judicieuse de l'éclairage naturel réduit les besoins en énergie de l'éclairage artificiel et elle améliore le bien-être des occupants. Un système doté de microstructures assure également une certaine transparence.

## ▶ RÉALISATION

Les paramètres d'encapsulation des structures ont été optimisés. Cette amélioration a permis d'encapsuler les structures en évitant les bulles ou d'autres défauts nuisibles à la transmission. Ces échantillons ont été encapsulés sans couche intermédiaire, un processus d'encapsulation qui produit des échantillons totalement transparents.

Le dispositif d'alignement a été réalisé en 2015. Les structures angulaires à revêtement sélectif ont été encapsulées. Les échantillons de micro-miroirs intégrés qui en résultent fournissent une très bonne vue lorsque l'incidence est normale et ils réorientent une large part de la lumière entrante si les angles d'incidence sont élevés. Les échantillons ont été étudiés au microscope électronique et le ratio d'image a été comparé, afin d'évaluer la contraction, à celui du moule utilisé pour la réplification. Le moule de FemtoPrint n'a pas été acheté parce que certaines limitations rendent impossible la création de pointes effilées.

Source: EPFL-LESO-PB





## + POUR PLUS D'INFORMATIONS :

### INSTITUT PAUL SCHERRER (PSI)

Division Energie et environnement

Peter Jansohn

peter.jansohn@psi.ch

## ▶ AUTRES OBJECTIFS, PROCÉDÉ

Avec les éléments de la plate-forme ESI, les chercheurs souhaitent sonder les limites de ce qui est faisable au niveau technique en matière de conversion d'électricité en gaz et déterminer les coûts et les possibilités de l'extension de la capacité à une installation de l'ordre du mégawatt.

Autres modes d'exploitation offerts par la plate-forme dans sa configuration actuelle :

- production de gaz de synthèse (SNG) à partir de gaz obtenu de la biomasse ou de biogaz
- SNG issu de biomasse humide (boues d'épuration, lisier, algues)
- synthèse de méthane à partir de CO<sub>2</sub> (sources industrielles/air)
- power to gas (pour la production d'hydrogène)
- power to power/mobilité (systèmes de piles à combustible PEM)
- soutien de la fréquence des réseaux électriques
- (couplage dynamique électrolyse/pile à combustible)

## ▶ INTÉGRATION DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

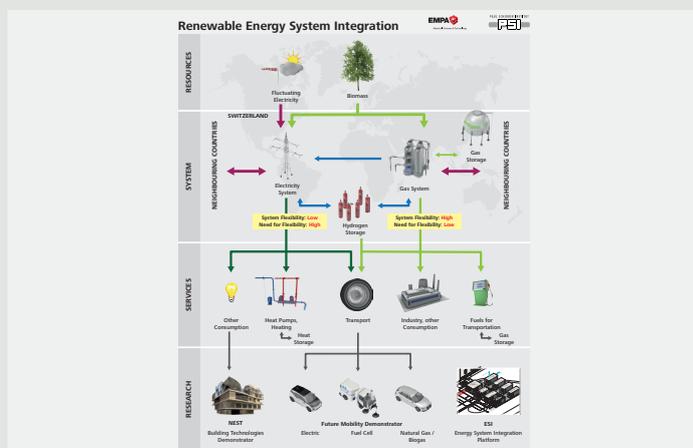


Image: PSI, Empa

## ▶ LIEN AVEC LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

La Stratégie énergétique 2050 prévoit un fort développement des énergies renouvelables comme l'énergie solaire et éolienne. L'intégration de ce type d'énergie, dont la production est décentralisée et soumise à des fluctuations dans le temps, constitue un défi de taille pour le réseau électrique. Une solution possible serait d'exploiter les excès de courant qui surchargent les réseaux pour produire des gaz à haut rendement, comme l'hydrogène ou le méthane. L'énergie électrique serait ainsi stockée sous forme d'énergie chimique. Par la suite, en fonction des besoins, ces gaz pourraient être de nouveau transformés en électricité, en chaleur ou en énergie cinétique (moteurs à gaz). Ce concept, appelé « conversion d'électricité en gaz » (ou « power to gas »), est au centre de la nouvelle plate-forme Energy System Integration (ESI) au PSI.

## ▶ RÉSULTATS OBTENUS

La phase actuelle du projet (2014–2016) était axée sur la réalisation de l'infrastructure de la plate-forme et la mise en service des premières générations de systèmes partiels (électrolyse PEM, piles à combustible PEM, méthanation à lit fluidisé, production de méthane par gazéification hydrothermale).

L'infrastructure d'approvisionnement de la plate-forme (réservoirs de stockage, alimentation en gaz/courant/eau de refroidissement, pilotage/réglage/systèmes de sécurité) est actuellement en cours de finalisation. Au terme de la mise en service, l'exploitation des systèmes partiels à titre d'essai sera possible sans restriction à partir de juin 2016.



## ▶ DONNÉES CLÉS

---

### ➤ DURÉE DU PROJET

12.2013–11.2016

### ➤ MANDANT

Office fédéral de l'énergie (OFEN)

### ➤ PARTENARIATS

Office fédéral de l'énergie (OFEN)

EPF Zurich, IDSC

EPF Zurich, LAV (Aerothermochemistry and Combustion Systems Laboratory)

Empa, département Technologies de propulsion automobile

## ▶ OBJECTIF PRINCIPAL

---

Dans le domaine des systèmes de propulsion par moteur à combustion destinés aux véhicules et aux machines mobiles, les moteurs diesel ou essence dominent aujourd'hui presque sans partage. A l'avenir, on peut s'attendre à une meilleure disponibilité des carburants alternatifs. Toutefois, on en sait peu au sujet de l'ampleur du gain d'efficacité qui pourra être obtenu grâce à l'exploitation des propriétés d'un carburant spécifique. Le projet NextICE s'appuie sur trois innovations techniques pour analyser et améliorer l'utilisation de carburants alternatifs dans des convertisseurs d'énergie conventionnels.

## ▶ MOTEUR MONOCYLINDRE FLEXIBLE

---

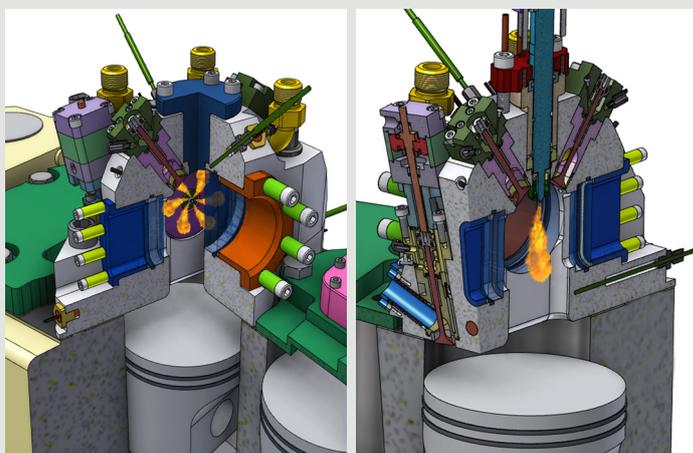


Image: LAV

## ▶ DÉFIS

---

Lors du processus de combustion d'un moteur diesel avec une proportion de mélange air-carburant stœchiométrique, il convient de veiller à la formation de suie, qui doit être empêchée par l'utilisation d'un carburant contenant de l'oxygène. La température élevée nécessaire à l'oxydation du méthane constitue en revanche un défi pour la gestion thermique, car elle va à l'encontre de la température basse des gaz d'échappement des moteurs efficaces. Lors du développement d'un nouveau type de commande de soupapes, l'accent est mis sur les exigences en termes de flexibilité, de coûts et d'efficacité énergétique.

## + POUR PLUS D'INFORMATIONS :

### EPF ZURICH

Institut des systèmes dynamiques et des techniques  
de régulation (IDSC)  
Institut des techniques énergétiques

### EMPA

Département Technologies de propulsion automobile

.....  
onder@idsc.mavt.ethz.ch

## ▶ AUTRES OBJECTIFS, PROCÉDÉ

Le projet s'articule en trois parties. Premièrement, des études fondamentales sont menées à l'aide d'un nouveau moteur monocylindre flexible pour analyser le comportement des carburants alternatifs à l'allumage et la formation de suie. Deuxièmement, il s'agit d'examiner la gestion thermique pour le traitement des gaz d'échappement d'un moteur au gaz naturel/biogaz à l'allumage diesel ainsi que la possibilité de réduire les émissions de méthane à l'intérieur du moteur. Troisièmement, il est prévu de réaliser une commande de soupapes entièrement variable pour le moteur à **combustion interne** (moteur Otto), ce qui permettra d'améliorer le comportement des moteurs de voiture en charge partielle.

## ▶ LIEN AVEC LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

La disponibilité future de carburants alternatifs issus de la production d'énergie électrique renouvelable temporairement excédentaire passe par le développement des convertisseurs d'énergie. Ces carburants, comme ceux issus de processus de la deuxième et de la troisième génération utilisant la biomasse, pourraient à l'avenir apporter une contribution décisive à la mobilité individuelle neutre en CO<sub>2</sub>. Les convertisseurs d'énergie doivent être optimisés pour une exploitation avec des carburants alternatifs, afin d'atteindre la meilleure efficacité possible et de réduire au mieux les émissions de substances nocives.

## ▶ CARBURANTS ALTERNATIFS

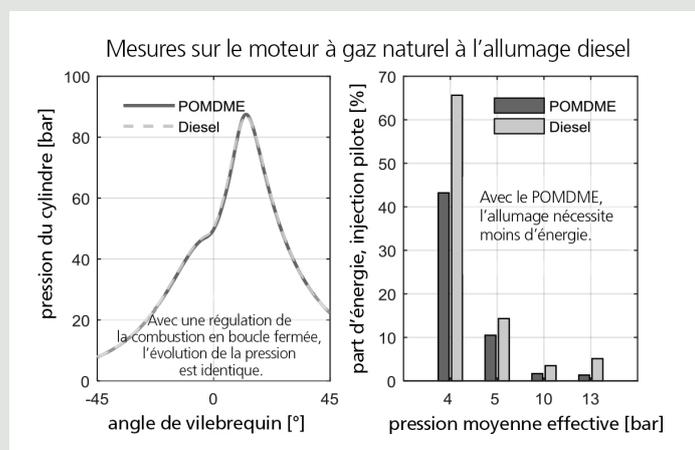


Image: IDSC/LAV

## ▶ RÉSULTATS OBTENUS

Les résultats concernant le comportement d'allumage de différents carburants alternatifs (p. ex. POMDME – **éthers diméthyliques de polyoxyméthylène**) utilisés comme carburant principal ou pilote sont disponibles. Ils montrent que la régulation de la combustion choisie fonctionne également avec des carburants alternatifs. En outre, les principaux paramètres du moteur ont fait l'objet d'analyses de sensibilité en vue de réduire les émissions de méthane à l'intérieur du moteur. Enfin, un modèle fonctionnel de commande de soupape entièrement variable a été réalisé pour les soupapes d'admission d'un moteur à combustion interne en série.



# DU CARTON ONDULÉ AVEC DE L'AMIDON SUISSE INNOVATION

## ▶ DONNÉES CLÉS DU PROJET «ALYESKA»

### ▶ DURÉE DU PROJET

2011–2015

### ▶ PARTENAIRES TECHNOLOGIQUES

Brümmer Extrusion Consulting, Wittenbach/CH  
Fraunhofer Institut, Potsdam-Golm/D  
Papiertechnische Stiftung, Heidenau/D

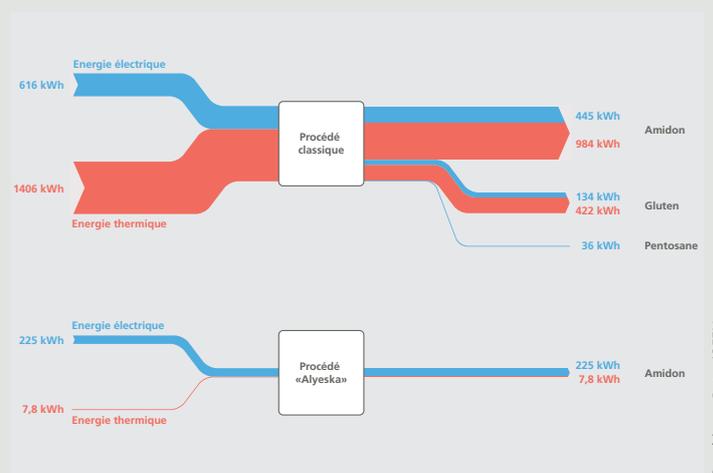
### ▶ COUVERTURE DU RISQUE/SOUTIEN

Fondation Suisse pour le climat  
Canton de Thurgovie (projet partiel récupération  
de la chaleur résiduelle)  
Office fédéral de l'énergie (OFEN)

## ▶ OBJECTIF PRINCIPAL

Les fabriques de papier suisses utilisent chaque année plusieurs milliers de tonnes de colle d'amidon pour la fabrication du carton ondulé. La colle, qui confère au carton la rigidité souhaitée, est actuellement issue d'amidon de blé, de pomme de terre ou de maïs importé. Dans le cadre du projet «Alyeska», Meyerhans Mühlen AG (Weinfelden/TG) a développé un procédé de fabrication de colle d'amidon novateur et énergétiquement efficace. Grâce à ce nouveau produit amylicé, l'industrie du papier suisse a la possibilité d'utiliser un matériau produit en Suisse pour la fabrication du carton ondulé.

## ▶ CONSOMMATION D'ÉNERGIE AVANT / APRÈS



## ▶ PROCESSUS MOINS LONG

Traditionnellement, la farine de blé est soumise à un traitement humide nécessitant beaucoup d'énergie qui permet l'obtention de l'amidon natif. Celui-ci est ensuite utilisé dans les fabriques de papier comme colle pour la fabrication de carton ondulé. Le procédé novateur de Meyerhans Mühlen AG utilise une extrudeuse pour la production d'amidon. Comparé au traitement humide, il a l'avantage de permettre l'ajustement du produit aux spécifications du client final directement en une seule étape et de réaliser ainsi une économie d'énergie considérable. Le nouveau procédé présente également un avantage pour la fabrique de papier, qui économise deux étapes du processus et donc encore six fois de l'énergie.

## + POUR PLUS D'INFORMATIONS :

**meyerhans**  **mühlen**  
Mehr als Mehl. Seit 1784.

### **MEYERHANS MÜHLEN AG**

Dominic Meyerhans, président du Comité de direction  
Industriestr. 55, 8570 Weinfelden  
Tél. +41 71 626 35 35  
info@meyerhans-muehlen.ch

## ▶ PROCÉDÉ

La farine de blé est composée non seulement de protéines, de lipides, de substances mucilagineuses et de sels minéraux, mais aussi en grande partie d'amidon. Elle ne se prête donc pas uniquement à la fabrication de produits alimentaires, mais peut également être transformée, à l'aide d'une extrudeuse, en un produit amylicé destiné à l'industrie du papier. Avec ses partenaires suisses et étrangers, Meyerhans Mühlen AG a développé un procédé novateur de transformation de l'amidon. Elle a consacré six millions de francs pour ce développement et pour la construction de l'installation de production à Weinfelden, qui a été officiellement mise en service le 12 novembre 2015.

## ▶ L'EXTRUDEUSE



Illustration: Meyerhans Mühlen AG

## ▶ LIEN AVEC LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

Le projet concrétise de manière exemplaire l'efficacité énergétique dans un contexte industriel: le nouveau procédé nécessite 84% d'énergie en moins que la production d'amidon conventionnelle avec traitement humide. Le besoin d'électricité diminue de 49% et le besoin de chaleur chute même de 99% (cf. diagramme Sankey ci-dessus). Au final, en comparaison avec le procédé conventionnel, environ 14'000 MWh d'énergie sont économisés chaque année, soit le besoin en électricité et en chaleur de 1800 ménages composés de quatre personnes (bâtiments neufs). A cela s'ajoutent les économies d'énergie réalisées par la fabrique de papier et lors des transports par camion.

## ▶ SYNERGIE GRÂCE AU PARTENARIAT

Si le nouveau procédé a pu être mis en œuvre, c'est grâce à la collaboration entre Meyerhans Mühlen AG et Model AG. Les deux entreprises sont situées dans la zone industrielle de Weinfelden, à quelques centaines de mètres l'une de l'autre. Le produit amylicé arrive du moulin à la fabrique de papier par un conduit. En s'alliant, les deux entreprises ont déployé une grande synergie pour préparer le terrain à une innovation en matière de procédé. L'OFEN a soutenu le projet dans le cadre de son programme pilote et de démonstration, entre autres en raison du grand potentiel d'innovation et d'économie d'énergie du procédé développé.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

# CONCEPTION DU MARCHÉ DE L'ÉLECTRICITÉ:

## COORDINATION DE LA POLITIQUE ET CONFIGURATION DE ZONES

### ▶ DONNÉES CLÉS

#### ▶ DURÉE DU PROJET

10.2014–12.2016

#### ▶ PROJET PRINCIPAL

Office fédéral de l'énergie

Programme de recherche Energie-Economie-Société (EES)

#### ▶ PARTENARIAT

SCCER CREST

(Pôle de compétence Suisse en recherche énergétique)

### ▶ PRINCIPAUX OBJECTIFS

Le marché suisse de l'électricité est soumis à des changements continus à large échelle en raison d'interventions sur le marché et de modifications réglementaires. Citons comme exemples la RPC, une possible libéralisation du marché, des ajustements tarifaires du réseau ou d'éventuelles rétributions de la capacité.

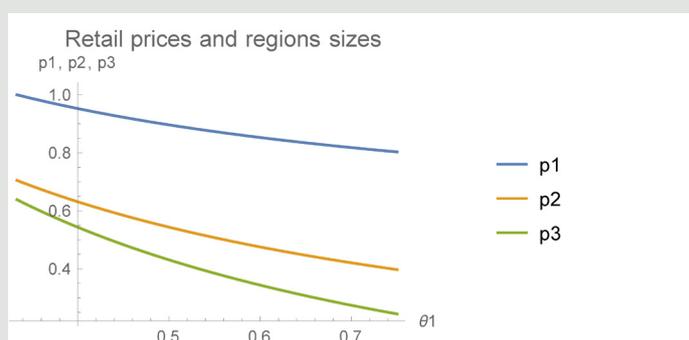
Il est probable que de telles interventions interagissent, ce qui pourrait entraîner des conséquences imprévues. En outre, différents niveaux de libéralisation du marché pourraient modifier les effets d'autres interventions.

Le présent projet analyse si et comment les interventions nécessitent une coordination et si une configuration de zones (politiques différenciées régionalement) pourrait favoriser et simplifier la coordination des politiques requise.

### ▶ RÉSULTATS INTERMÉDIAIRES

- Il n'est pas nécessaire de coordonner des interventions de nature politique sur le plan de l'offre et de la demande.
- L'hésitation des consommateurs à changer de fournisseur permet une stratégie tarifaire conduisant à des différences de prix sur le marché. Les fournisseurs qui desservent des marchés domestiques plus grands fixent des prix plus élevés.
- L'autosuffisance en matière de production électrique est improbable en l'absence d'importantes interventions politiques.
- La promotion des nouvelles énergies renouvelables exige des mesures d'accompagnement pour les technologies non intermittentes (p. ex. rémunération des capacités, marchés des capacités), afin d'obtenir un résultat au moindre coût social.
- Le subventionnement des énergies renouvelables intermittentes exige une coordination pour minimiser les coûts.

### ▶ PRIX DE DÉTAIL ET TAILLE DES RÉGIONS



Prix de détail normalisés pour trois régions en fonction de la taille relative  $\theta_1$  de la plus grande région 1. Les fournisseurs desservant des régions plus grandes fixent des prix plus élevés que les autres. Réduire la taille de la plus petite région fait baisser les prix sur l'ensemble du marché.

## + POUR EN SAVOIR PLUS :

**UNIVERSITÉ DE BÂLE**, Division of Environmental and Energy Economics, [www.unibas.ch/umwelt](http://www.unibas.ch/umwelt)  
Dr. Nicolas Weidmann-Ordóñez, Prof. Dr. Frank C. Krysiak,  
Prof. Dr. Hannes Weigt

.....  
**CONTACT:** [nicolas.weidmann-ordonez@unibas.ch](mailto:nicolas.weidmann-ordonez@unibas.ch)

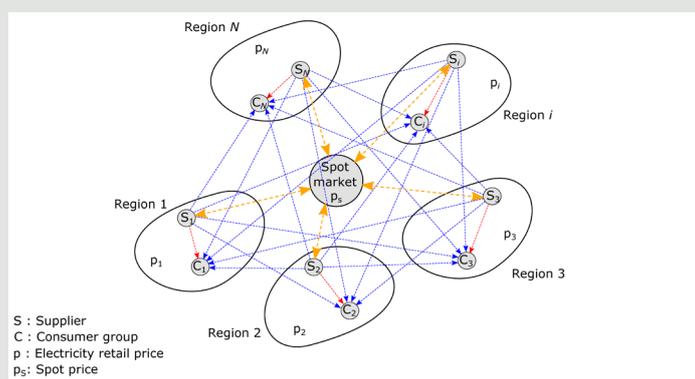
## ▶ MODÈLE DE MARCHÉ ÉLECTRIQUE

Nous avons développé un modèle de marché électrique multi-régional comprenant des consommateurs et des fournisseurs d'électricité qui représente :

- une libéralisation partielle du marché, avec des consommateurs qui peuvent changer de fournisseur mais qui pourraient hésiter à le faire, comme cela a été observé dans plusieurs marchés libéralisés à l'étranger ;
- des mesures de politique, y compris des tarifs de rachat, des tarifs de réseau et des rémunérations de capacité ;
- des technologies de production intermittentes (renouvelables) et pilotables ; et
- un marché spot qui relie la Suisse aux marchés avoisinants.

Tant le marché de détail que le marché spot sont modélisés comme étant imparfaitement concurrentiels.

## ▶ STRUCTURE DU MODÈLE



Marché électrique comptant N régions, avec un fournisseur et un groupe de consommateurs par région. Une fois le marché libéralisé, les consommateurs peuvent soit acheter l'électricité à leur fournisseur local (flèches rouges) ou passer à une autre région (flèches bleues). Les fournisseurs peuvent négocier l'électricité sur le marché spot (flèches oranges).

## ▶ RÉFÉRENCES À D'AUTRES PROJETS

Le présent projet fait partie du SCCER CREST (Swiss Competence Center for Energy Research: Competence Center for Research in Energy, Society and Transition), qui est soutenu financièrement par la Commission fédérale pour la technologie et l'innovation (CTI). Notre projet s'inscrit dans la ligne de recherche du SCCER CREST sur la conception des marchés électriques.

De plus, notre projet est aussi lié au projet parallèle EES (*Oligopolistic capacity expansion with subsequent market-bidding under transmission constraints*), qui analyse les décisions d'investissement stratégique des producteurs d'électricité.

## ▶ STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

La recherche menée dans le cadre du présent projet vise à étudier d'éventuelles conceptions d'un marché électrique suisse du futur qui soit en ligne avec les objectifs importants de la Stratégie énergétique 2050.

En particulier, nous analysons si et comment différentes interventions combinées sur le marché interagissent et, par conséquent, s'il y a lieu de les coordonner. Notre attention porte spécialement sur les interventions visant à accroître la diffusion de technologies de production (intermittente) renouvelable (p. ex. les tarifs de rachat) ou à garantir un approvisionnement électrique sûr et abordable (p. ex. libéralisation du marché, rémunération des capacités et tarifs de réseau).



# ACCUMULATEURS DE GLACE POUR CHAUFFER DES BÂTIMENTS

## ▶ DONNÉES CLÉS

### ➤ DURÉE DU PROJET

2012–2015 (High-Ice) et 2015–2017 (Ice-Ex)

### ➤ MANDANT

Office fédéral de l'énergie (OFEN)

### ➤ PARTENARIATS

Office fédéral de l'énergie (OFEN)  
PME (bacs à accumulation de glace et échangeurs  
thermiques)

## ▶ L'ACCUMULATEUR DE GLACE EN TANT QUE SOURCE DES PAC

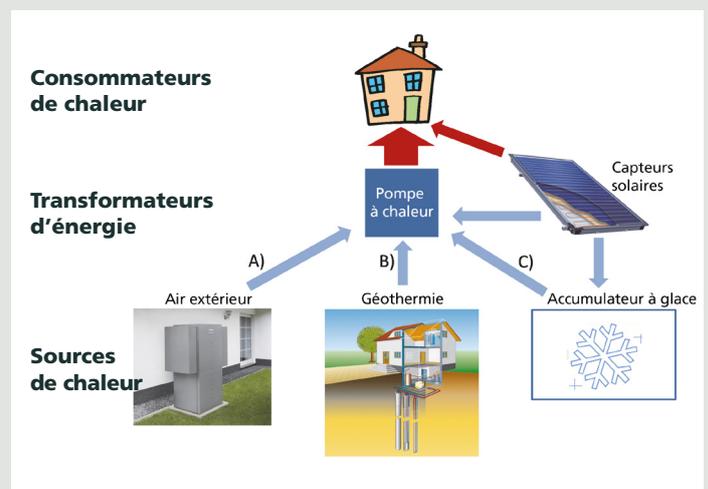


Illustration : SPF

## ▶ OBJECTIF PRINCIPAL

Les accumulateurs de glace peuvent également être utilisés dans des bâtiments existants en tant que source de chaleur alternative pour les chauffages par pompe à chaleur (PAC). Ils sont chargés par le soleil ou grâce à des sources à basse température. Les projets de l'OFEN High-Ice et Ice-Ex visent à développer l'intégration d'accumulateurs de glace dans des chauffages par PAC ainsi que de nouveaux concepts et de nouvelles solutions d'échangeur thermique avec accumulateur de glace.

Les projets montrent comment les accumulateurs de glace, les capteurs solaires, la récupération de chaleur et les PAC peuvent être combinés pour être utilisés comme « chauffage solaire/à glace » même dans des bâtiments existants, et ce avec peu de ressources.

## ▶ DÉFIS

### LES ACCUMULATEURS DE GLACE SONT PARFOIS LES SEULES SOURCES DES PAC :

- les dimensions de l'accumulateur sont déterminantes ; le chauffage doit être conçu avec soin (influences climatiques/emplacement).

### LES ACCUMULATEURS DE GLACE COURANTS DANS LA CLIMATISATION ET LE PROCESSUS DE FROID DANS L'INDUSTRIE IMPLIQUENT DES COÛTS D'INVESTISSEMENT ÉLEVÉS :

- nécessité de développer des accumulateurs à prix abordable pour le chauffage de bâtiments (concurrence des autres types de chauffage).

### LA PLACE QUE REQUIERT UN ACCUMULATEUR DE GLACE EST SURTOUT CRITIQUE DANS LES BÂTIMENTS EXISTANTS :

- selon la source de chaleur (solaire, rejets de chaleur, etc.) et la charge de chauffage, il n'y a pas suffisamment de place.

## + POUR PLUS D'INFORMATIONS :

### HAUTE ÉCOLE TECHNIQUE DE RAPPERSWIL (HSR)

Institut de technologie solaire (SPF)

research@spf.ch

## ▶ AUTRES OBJECTIFS, PROCÉDÉ

---

Les autres objectifs consistent à analyser, d'une part, l'influence du dimensionnement des composants (accumulateur de glace, champ de capteurs) sur la consommation électrique annuelle et sur l'impact écologique et, d'autre part, les coûts de production de chaleur du système pendant sa durée de vie. En outre, un échangeur thermique dégivrant de façon mécanique a été développé en laboratoire.

Les analyses sont menées pour des maisons individuelles au moyen de simulations validées (logiciel TRNSYS). Trois bâtiments soumis à des climats différents sont pris en compte (Zurich, Locarno, Davos). Les indicateurs retenus pour les analyses du cycle de vie sont l'énergie primaire non renouvelable, le CO<sub>2</sub> et l'UCE.

## ▶ ECHANGEUR THERMIQUE À L'INTÉRIEUR DE L'ACCUMULATEUR DE GLACE

---



Image : SPF

## ▶ LIEN AVEC LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

---

La combinaison de la chaleur solaire et de la chaleur ambiante avec des PAC et des accumulateurs de glace permet d'accroître l'utilisation de chaleur issue de sources renouvelables dans les bâtiments.

En outre, les chauffages utilisant l'énergie solaire et la glace peuvent arriver à une consommation d'électricité nettement moins élevée que les PAC air/eau.

Les accumulateurs de glace ne sont pas sujets au « vol de chaleur », contrairement aux sondes géothermiques, qui sont des installations très similaires. Ils peuvent ainsi contribuer dans une large mesure à l'atteinte des objectifs de politique énergétique justement dans les zones urbaines à forte densité de construction.

## ▶ RÉSULTATS OBTENUS

---

Le chauffage solaire/à glace simulé permet également d'approvisionner en chaleur des bâtiments existants (IDC 75 kWh/a). En utilisant une PAC normale (source -5 °C minimum), les résultats indiquent un accumulateur de glace de grand volume (> 10 m<sup>3</sup>) et des coefficients de performance annuels d'environ 4,5 à 7.

La dimension optimale des chauffages solaires/à glace avec collecteur/absorbeur sélectif est atteinte lorsque le système est monovalent. C'est alors que l'impact écologique est le plus faible et que le coefficient de performance annuel est élevé.

Les systèmes de chauffage solaire/à glace sont flexibles: le dimensionnement de l'accumulateur de glace et du champ de capteurs et l'éventuelle récupération de chaleur dépendent des conditions locales.



# TECHNOLOGIES D'EXPLOITATION DE L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE PROFONDE EXPÉRIMENTÉES DANS UN LABORATOIRE SOUS-TERRAIN

## ▶ DONNÉES CLÉS

---

### ▶ DURÉE DU PROJET

01.2015–12.2017

### ▶ SPONSORS

Shell, EKZ, ETH Foundation, SCCER-SoE, SNF

### ▶ PARTENAIRES

Nagra, SCCER-SoE, EPFZ

### ▶ EMPLACEMENT

Site de test du Grimsel, Suisse

## ▶ STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

---

- Selon la Stratégie énergétique 2050, l'énergie géothermique profonde doit fournir 7% de l'électricité produite en Suisse: 4,4 TWh/an, plus de 500 MWe de puissance installée.
- Les ressources géothermiques profondes sont illimitées: refroidir de 20 °C 1 km<sup>3</sup> de granit à 180 °C pourrait fournir une chaleur suffisante à générer plus de 10 MWe pendant 20 ans.
- En Suisse, les conditions géothermiques sont favorables (présence de roches cristallines à 170–190 °C à une profondeur de 4–6 km: il faut un débit d'eau supérieur à 200 l/s à 180 °C pour générer 20 MWe.
- En commençant en 2025, la Suisse devra installer 20 MWe par an pour atteindre le taux de 7% en 2050.

## ▶ PRINCIPAL OBJECTIF

---

- En Suisse, l'eau hydrothermale recèle un potentiel important pour le chauffage, mais moindre pour l'électricité, car elle est rare et difficile à trouver. Il faut créer des réservoirs profonds dans la roche chaude (EGS) et faire circuler de l'eau à partir de la surface pour extraire la chaleur géothermique profonde.
- Le laboratoire souterrain DUGLab (deep underground laboratory) vise à étudier les processus couplés hydro-mécaniques associés à la circulation des fluides sous haute pression et à démontrer les technologies destinées à exploiter l'énergie géothermique profonde.

## ▶ DÉFIS

---

- Les processus physiques liés à la création et au maintien de réservoirs géothermiques profonds ne sont pas encore bien compris.
- Le principal défi consiste à créer un échangeur de chaleur durable en profondeur, un système capable de fonctionner pendant 20 à 40 ans avec un minimum de perte en flux, température et efficacité et un flux soutenu supérieur à 200 l/s d'eau à 180 °C.
- De nouvelles approches sont requises pour accentuer la perméabilité de la roche en optimisant la distribution des microfissures et la porosité afin de maximiser les échanges de chaleur, la zone couverte et la circulation de l'eau.



# ÉLECTRIFICATION DU TRANSPORT PUBLIC URBAIN NON GUIDÉ

## ▶ DONNÉES CLÉS

### ▶ DURÉE DU PROJET

11.2013–06.2016

### ▶ MANDANT

Office fédéral de l'énergie (OFEN)

### ▶ PARTENARIAT

Office fédéral de l'énergie (OFEN)

## ▶ OBJECTIF PRINCIPAL

Au cours des dernières années, l'industrie automobile a développé différents concepts de moteurs alternatifs, comme le bus hybride diesel, le bus à piles à combustible et le bus électrique, dont les paramètres d'utilisation diffèrent de ceux des bus diesel et des trolleybus. En outre, l'introduction de technologies alternatives implique des investissements importants, raison pour laquelle les exploitants de transports publics ont besoin de bases de décision fiables. Ce projet vise à soutenir de manière déterminante ces décisions en développant une méthode d'évaluation permettant la comparaison globale des systèmes de propulsion.

## ▶ BUS ÉLECTRIQUE : L'AVENIR DES TRANSPORTS PUBLICS?



Image: Michael Schwärter

## ▶ DÉFIS

Un des plus grands défis consiste à modéliser les groupes motopropulseurs de manière suffisamment précise («aussi précisément qu'il le faut» et non «aussi précisément que possible»). Il est également difficile de tenir compte du besoin énergétique des fonctions auxiliaires, comme le chauffage, l'aération et la climatisation de l'habitacle.

Autre défi: définir les limites pour la prise en compte de «l'énergie grise» et obtenir les données nécessaires. Par exemple, comment et dans quelle mesure l'énergie nécessaire à la construction de l'infrastructure routière doit être imputée aux systèmes de bus?

## + POUR PLUS D'INFORMATIONS :

### EPF ZURICH

Institut de planification du trafic et des systèmes de transport (IVT)

.....  
Michael Schwertner

michael.schwertner@ivt.baug.ethz.ch

## ▶ AUTRES OBJECTIFS, PROCÉDÉ

L'évaluation des besoins énergétiques (« well-to-wheel ») sur une base dynamique est au cœur de la nouvelle méthode. Les grandeurs d'entrée sont les valeurs caractéristiques d'une ligne quelconque des transports publics (pentes, vitesses, arrêts) ainsi que les paramètres du véhicule (p. ex. puissance du moteur, occupation). Les émissions peuvent être déterminées sur la base du besoin énergétique, qui constitue par ailleurs une grandeur d'entrée importante pour l'estimation des coûts d'exploitation. Le projet vise à prendre en compte également « l'énergie grise » dans la comparaison.

Celle-ci englobe non seulement huit systèmes de propulsion de bus, mais aussi le tram, car les domaines d'application de ces deux moyens de transport se recoupent de plus en plus.

## ▶ RÉSULTAT DE LA SIMULATION (EXEMPLE)

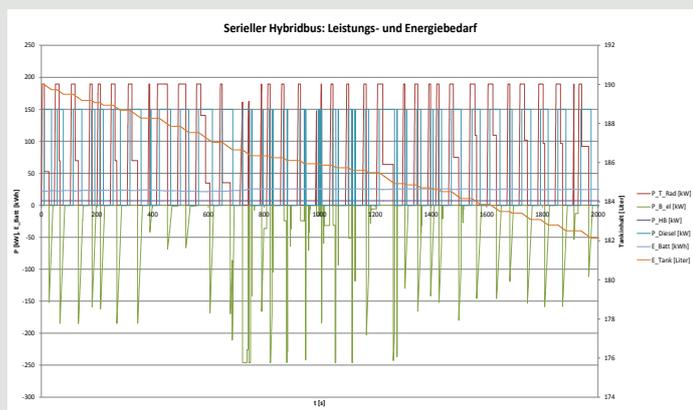


Image: Michael Schwertner

## ▶ LIEN AVEC LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

Les transports publics contribuent déjà dans une large mesure à un système de transport durable. Mais il existe encore un potentiel d'amélioration dans le domaine des transports publics routiers, où le bus diesel continue de dominer. Le passage à des groupes motopropulseurs partiellement ou entièrement électriques permet de réduire le besoin énergétique, de diminuer les émissions de polluants et de bruit et de limiter sensiblement la dépendance des agents énergétiques fossiles.

## ▶ RÉSULTATS OBTENUS

A l'heure actuelle, seul le calcul du besoin énergétique en est à un stade suffisamment avancé pour fournir des résultats intermédiaires ; l'image à gauche illustre un exemple. Il s'agit d'un extrait du calcul de la performance et du besoin énergétique d'un bus diesel hybride en série, long de 18 m, parcourant une ligne de 11,5 km qui comprend 29 arrêts.

La comparaison des résultats pour cette ligne montre que, par rapport au bus diesel, le trolleybus affiche le besoin en énergie primaire le plus faible avec 63%, suivi du bus électrique (57%) et du bus hybride en série (18%). Il est intéressant de noter que le besoin énergétique d'un tram deux fois plus long (36 m) est aussi nettement inférieur à celui du bus diesel de référence (48%).



# wastEturn

## UN PROJET RÉALISÉ DANS LE CADRE DU PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE 70 (PNR 70) DU FNS « VIRAGE ÉNERGÉTIQUE »

### ▶ DONNÉES DU PROJET

#### ➤ DURÉE DU PROJET

10.2014–02.2018

#### ➤ ORGANISME DE FINANCEMENT

Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS), PRN 70

#### ➤ PARTENARIATS

Association suisse des exploitants d'installations de traitement des déchets (ASED) • CIMO SA • Office fédéral de l'environnement (OFEV) • Holcim (Suisse) et Geocycle (LafargeHolcim) • Zweckverband Kehrichtverwertung Zürcher Oberland • Lonza AG • Neosys AG • AWEL (canton de ZH) • Stahl Gerlafingen • Swiss Recycling • Infrapark Baselland SA • Dottikon Exclusive Synthesis SA

### ▶ PRINCIPAL OBJECTIF

La gestion des déchets municipaux solides (MSW pour Municipal Solid Waste) et des déchets industriels (IW pour Industrial Waste) présente en Suisse un important potentiel d'amélioration en termes d'économies énergétiques directes (Fig. 1) et indirectes (ou grises), ces dernières étant obtenues par recyclage des matériaux. Le projet *wastEturn* vise à **optimiser la contribution du système suisse de gestion des déchets au tournant énergétique, compte tenu des performances environnementale et économique, et à développer des stratégies de transition socialement solides aux fins de sa mise en œuvre.**

### + POUR EN SAVOIR PLUS :

#### ECOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE ZÜRICH INSTITUTE FOR CHEMICAL AND BIOENGINEERING

Prof. Dr. Konrad Hungerbühler

.....  
konrad.hungerbuehler@chem.ethz.ch

### ▶ ANALYSE DU FLUX ÉNERGÉTIQUE DES DÉCHETS SUISSES

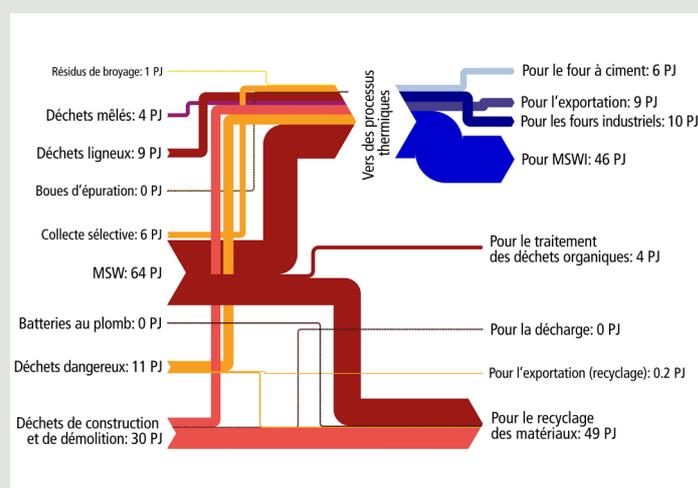


Figure : adaptation de Dettli et al. 2014

### ▶ DÉFIS

La modélisation des systèmes de gestion optimisés MSW et IW exige de considérer ce qui pourra déterminer ces systèmes à l'avenir, par exemple les futurs volumes de déchets et les politiques énergétiques, afin d'évaluer les incertitudes qui nous attendent. Les quatre sous-projets coopèrent étroitement pour développer des scénarios cohérents pour ces facteurs déterminants en intégrant les scénarios énergétiques actuels de la Suisse et les connaissances des experts de la gestion des déchets. Cet effort conjoint illustre le défi que représente l'intégration de diverses formes de connaissances (p. ex. données, expertise liée à un cas) à différentes étapes du projet dans un contexte interdisciplinaire.

## ▶ AUTRES OBJECTIFS, APPROCHE

Quatre sous-projets (SP) ont été lancés pour couvrir les flux de déchets les plus importants (IW et MSW) et les trois piliers de la durabilité ainsi que pour répondre au caractère interdisciplinaire du projet global. Tous les sous-projets sont étroitement liés les uns aux autres par des échanges d'information, le transfert de méthodologie et des études de cas comprenant divers flux de déchets déterminants (Fig. 2). Une collaboration étroite avec divers partenaires et parties prenantes extérieurs, tant bilatéralement au sein des sous-projets qu'au moyen des deux conseils consultatifs du projet (MSW et IW), garantit un fort lien avec les questions pratiques et le transfert de connaissances.

## ▶ ARCHITECTURE DU PROJET

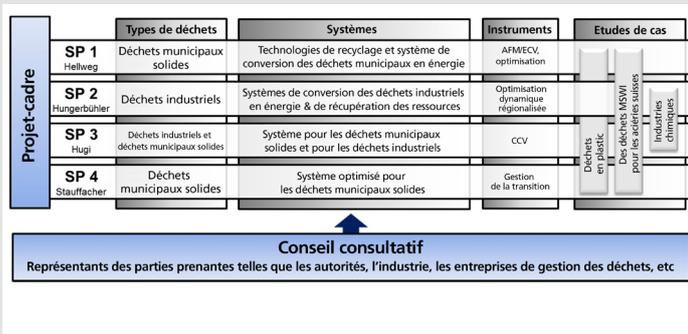


Figure - wastEturn

SP 1: Prof. Dr. Stefanie Hellweg, Ecological Systems Design, ETH Zurich  
 SP 2: Prof. Dr. Konrad Hungerbühler, Safety and Environmental Technology Group, ETH Zurich  
 SP 3: Prof. Dr. Christoph Hugi, Institute for Ecopreneurship, FHNW  
 SP 4: Prof. Dr. Michael Stauffacher, USYS Transdisciplinarity Laboratory, ETH Zurich

## ▶ STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

Le projet *wastEturn* contribue à la Stratégie énergétique 2050 :

- en identifiant et en évaluant les mesures potentielles pour accroître l'éco-efficacité des flux de déchets les plus importants du point de vue énergétique ;
- en évaluant la viabilité financière des systèmes de gestion des déchets optimaux du point de vue environnemental ;
- en analysant les obstacles et les facteurs déterminants de la transition vers de tels systèmes et en évaluant les stratégies d'application pratique ;
- en soutenant les industries dans la mise en œuvre de systèmes de conversion des déchets en énergie par des modèles de planification et de programmation visant à résoudre les problèmes en conditions d'incertitude ;
- en encourageant la constitution de capacités auprès des responsables de l'industrie, de la classe politique et du monde académique.

## ▶ RÉSULTATS À CE STADE

Les résultats obtenus à ce stade sont les suivants :

- Les taux de récupération communiqués actuellement sont formulés de manière incohérente ; le potentiel d'amélioration dans la chaîne de recyclage et les potentiels d'économie d'énergie correspondants s'en trouvent occultés.
- La demande d'électricité pour le recyclage de l'acier dépend substantiellement de la qualité de la ressource.
- La majorité des acteurs suisses de la gestion des déchets municipaux solides (MSW) tend à favoriser l'utilisation des matériaux plutôt que l'utilisation énergétique et thermique (sous réserve pour certains d'un soutien à des conditions telles que la faisabilité technique et la valeur de réutilisation des produits recyclés dans les marchés secondaires).

# L'INFLUENCE DE LA POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE ÉTRANGÈRE SUR L'INNOVATION VERTE EN SUISSE

## ▶ DONNÉES CLÉS

### ➤ DURÉE DU PROJET

08.2015–08.2016

### ➤ MANDANT

Office fédéral de l'énergie (OFEN)  
Programme de recherche Énergie – économie – société (EES)

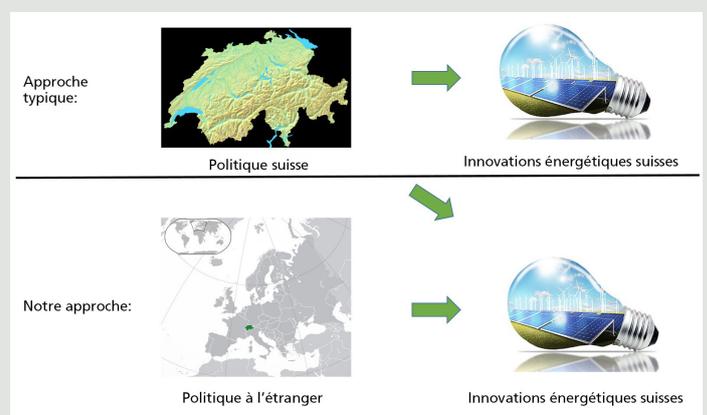
### ➤ PARTENARIATS

Fonds national suisse (PNR 71)  
Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW)  
Austrian Institute of Economic Research (WIFO)

## ▶ OBJECTIF PRINCIPAL

- Comment la **politique énergétique menée à l'étranger** influence-t-elle l'innovation énergétique verte des entreprises suisses?
- Quels instruments politiques déploient l'impact le plus marquant?
- Les effets de la politique sont-ils influencés par le **volume des exportations** des entreprises?
- Les effets de la politique varient-ils en fonction des **régions d'exportation**?
- La politique menée à l'étranger est-elle plus importante pour les entreprises dans les **petits pays** comme la Suisse que pour les entreprises dans les **grands pays** comme l'Allemagne?
- Les effets varient-ils en fonction des **différents domaines** de l'innovation énergétique verte (création d'énergie, production, TIC, etc.)?

## ▶ IDÉE DE RECHERCHE



## ▶ LIEN AVEC D'AUTRES PROJETS

L'étude repose sur des données recueillies en automne 2015 dans le cadre d'une **enquête spécifique** concernant la création et la diffusion de technologies énergétiques réalisée auprès d'entreprises **en Suisse, en Allemagne et en Autriche**. La majeure partie de l'enquête a été développée pour un **projet du PNR 71**. Afin de traiter la problématique concernée, des questions spécifiques portant sur l'importance de la politique menée en Suisse et à l'étranger ont été ajoutées.

## + POUR PLUS D'INFORMATIONS :

### EPFZ

KOF Centre de recherches conjoncturelles ;  
Division Economie d'innovation ;  
Tobias Stucki, stucki@kof.ethz.ch

## ► PROCÉDÉ

Die Umfragedaten enthalten detaillierte Informationen bezüglich innovationsrelevanten Unternehmensmerkmalen und der Relevanz ausländischer Politikmassnahmen. Neben interessanten deskriptiven Auswertungen ermöglichen es die Umfragedaten den Zusammenhang zwischen ausländischen und inländischen Politikmassnahmen und der Innovationsleistung von Schweizer Unternehmen in Form einer fundierten Innovationsgleichung zu schätzen.

## ► MODÈLE ÉCONOMÉTRIQUE

Le modèle de régression pour l'entreprise  $i$  est défini comme :

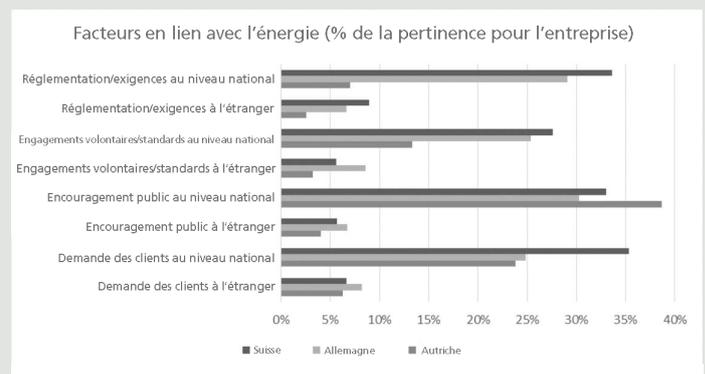
$$I_i = f\{PD_i, PF_i, PD_i * PF_i, X_i\}$$

- $I$  : Capacité d'innovation de l'entreprise  $i$   
 $PD$  : Contexte politique de l'entreprise en Suisse  
 $PF$  : Contexte politique de l'entreprise à l'étranger  
 $X$  : Vecteur de contrôle (taille de l'entreprise, industrie, concurrence, demande, potentiel technologique, base de connaissances)

## ► LIEN AVEC LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

Aufgrund der starken Verflechtung der Schweizer Wirtschaft mit dem Ausland ist zu erwarten, dass die Innovationsaktivität von Schweizer Unternehmen auch sehr stark von der ausländischen Politik getrieben ist. Um effiziente Politikinstrumente entwickeln zu können, ist es deshalb fundamental, unser Wissen darüber zu verbessern, wie Politikinstrumente in der Schweiz mit der Politik im Ausland interagieren.

## ► RÉSULTATS DESCRIPTIFS



Stocker  
l'énergie  
sur place

# ACCUMULATEURS THERMIQUES ET ÉLECTRIQUES DANS DES QUARTIERS

## ▶ DONNÉES CLÉS

### ▶ DURÉE DU PROJET

11.2013–06.2016

### ▶ MANDANT

Office fédéral de l'énergie (OFEN)

### ▶ PARTENAIRES DU PROJET

Ökozentrum  
Empa  
HSLU  
ZHAW  
Quantis, Zürich

## ▶ CONCEPT DE SIMULATION

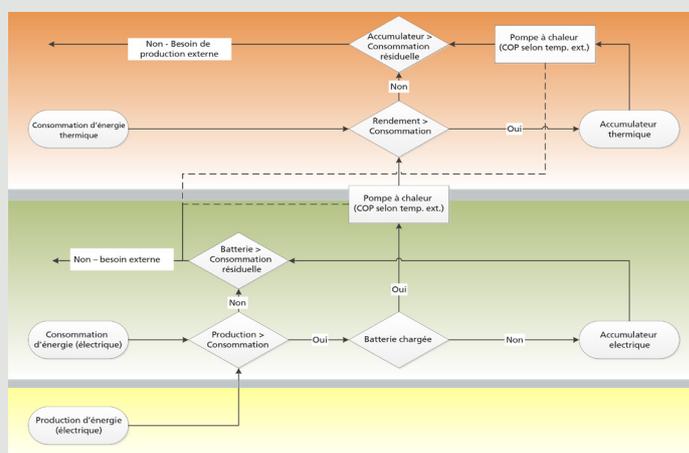


Image: Claudia Bless, HSLU – T & A, ZIG Horw

## ▶ OBJECTIF PRINCIPAL

Le but du projet est de créer une vue d'ensemble des systèmes de stockage thermiques et électriques ainsi que de leur utilisation décentralisée dans des quartiers. L'exploitation des systèmes de stockage évalués est analysée dans le contexte de la production et de la distribution décentralisée d'énergie dans le quartier de Kreuzmatt à Rheinfelden (AG). La caractérisation des systèmes de stockage englobe les facteurs suivants : applicabilité du système de stockage dans le quartier, participation à la production et à la distribution d'énergie, utilisation comme accumulateur de courte durée ou saisonnier, efficacité énergétique, indicateurs environnementaux et données clés économiques.

## ▶ LIEN AVEC D'AUTRES PROJETS

- CCEM :  
IDEAS 4 CITIES : Integration of decentralized energy adaptive systems for cities
- CTI SCCER :  
Future Energy Efficient Buildings & Districts (FEED&D)  
WP 3 Urban energy systems
- PNR 70 Virage énergétique :  
Integration of sustainable multi-energy-hub systems at neighbourhood scale (IMES)
- EU FP 7 :  
Combined development of compact thermal energy storage technologies (COMPRES)

## + POUR PLUS D'INFORMATIONS :

**ÖKOZENTRUM**, Langenbruck  
Christian Gaegauf  
christian.gaegauf@oekozentrum.ch

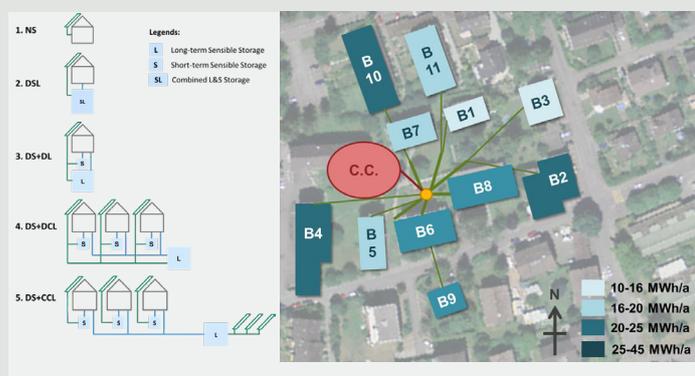
### PROCÉDURE

Les données récoltées et simulées portant sur la consommation de 18 bâtiments dans le quartier constituent la base pour l'appréciation des techniques de stockage évaluées. L'évolution du besoin énergétique a été calculée pour différents scénarios en s'appuyant sur la consommation actuelle :

**Efficacité 2035/Efficacité 2050:** besoin et production d'énergie dans les années 2035 et 2050, selon les perspectives énergétiques de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN).

**Max 2035/Max 2050:** besoin et production d'énergie dans les années 2035 et 2050, selon les perspectives énergétiques de l'OFEN. Ces scénarios tiennent en outre compte de la production maximale possible des panneaux photovoltaïques et de l'utilisation exclusive de pompes à chaleur pour couvrir le besoin en chaleur d'ici à 2050.

### CONFIGURATIONS ÉVALUÉES



Analyse de configurations avec accumulateurs de chaleur de courte et longue durée

Configuration avec accumulateur central et réseau de chauffage local

### RÉSULTATS OBTENUS JUSQU'À PRÉSENT

La comparaison des variantes avec et sans accumulateur montre que la réduction de consommation imputable à l'utilisation d'accumulateurs est marginale dans le scénario *Efficacité 2035* et très faible dans le scénario *Efficacité 2050*. Cela est dû au fait que ces deux scénarios ne comprennent que très peu de panneaux photovoltaïques. C'est seulement dans le cas de l'extension maximale possible des installations photovoltaïques dans les variantes *Max 2035* et *Max 2050* que l'utilisation d'accumulateurs permet de réduire de 25 à 60% le besoin énergétique pondéré à partir des réseaux de gaz et d'électricité. Lorsque les changements en termes de besoin énergétique ne sont que marginaux, l'impact environnemental des accumulateurs de faible capacité est également comparable à celui de la version sans accumulateur. Dans le scénario *Max 2035/Max 2050* avec une capacité de stockage très élevée, il est possible d'observer pour certains indicateurs (p. ex. émissions de gaz à effet de serre) des baisses significatives, tandis que pour d'autres indicateurs environnementaux de l'infrastructure de stockage, les progrès enregistrés grâce à la réduction du besoin énergétique sont à nouveau compensés.

### LIEN AVEC LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

Les calculs du besoin énergétique du quartier pour les années 2035 et 2050 reposent sur les scénarios de consommation des perspectives énergétiques, qui sont à la base de la Stratégie énergétique 2050.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

# SCCER SOE

# ELECTRICITÉ HYDRAULIQUE

## ▶ DONNÉES CLÉS

### ➤ DURÉE DU PROJET

01.2017–12.2020

### ➤ SPONSORS PARTENAIRES INDUSTRIELS

OFEN	Voith Hydro	Jacquier-Luisier SA
CTI	Alpiq	Valelectric Farner SA
FNS	Axpo	Telsa SA
Andritz Hydro	KWO	Stahleinbau GmbH
GE Renewable Energy	Groupe E	Mhylab
	FMV	

### ➤ PARTENAIRES ACADÉMIQUES ET DE COOPÉRATION

EPFL-LCH	ETHZ-VAW
HES-SO Valais	EAWAG
EPFL-LMH	WSL
ETHZ-C2SM	USI
ETHZ-HRWM	HSLU

## ▶ PRINCIPAL OBJECTIF

« Donner à l'électricité hydraulique la part principale du mix électrique de la Suisse en 2050 en relevant les défis écologiques et économiques du réchauffement global grâce à la recherche et à l'innovation. »

## ▶ PROJET PILOTE INTERDISCIPLINAIRE

Démonstrateur d'un vaste projet hydroélectrique complexe  
*Exploitation flexible visant les heures de rétribution supérieure*



- environnement changeant
- concentration de la production sur moins d'heures
- gestion de la sédimentation des réservoirs
- respect de la loi fédérale sur la protection des eaux
- gestion d'un bassin de compensation pour empêcher les éclusées

Photo : swiss-image.ch/Max Schmid

## ▶ RELATION À D'AUTRES PROJETS

Une étroite coopération avec le PNR 70 a été établie pour des aspects concernant le marché énergétique et l'impact environnemental de l'hydroélectricité.

On développe aussi des activités inter-SCCER avec le SCCER CREST et le SCCER FURIES, afin de définir des scénarios d'exploitation réalistes.

Les activités du projet SCCER SoE contribuent aussi au projet commun européen FP7 HYPERBOLE.

## + POUR EN SAVOIR PLUS :

### ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE (EPFL)

Prof. Dr. Anton Schleiss | Prof. Dr. François Avellan  
anton.schleiss@epfl.ch | francois.avellan@epfl.ch

## ▶ OBJECTIFS

- Comprendre les effets du changement climatique et des catastrophes naturelles sur le réservoir et la sédimentation
  - Assurer la libération contrôlée des sédiments fins à partir d'un réservoir
  - Modéliser et simuler l'érosion par les limons des composants de turbines.
- Gérer les conditions d'exploitation de l'hydroélectricité en cas de pointes importantes
  - Évaluer la sécurité des infrastructures
  - Atténuer les effets sur le régime des cours d'eau : écluse
  - Étendre la plage de fonctionnement des turbines et pompes-turbines
- Définir des schémas d'exploitation durable de la petite hydraulique
  - Développer des technologies novatrices dédiées aux infrastructures existantes (eau fraîche, eaux usées, canal de fuite, ...)
  - Optimiser la production électrique de la petite hydraulique pour minimiser les effets négatifs sur l'écologie des cours d'eau

## ▶ STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

Le projet SCCER SoE répond à des questions clés face aux défis du futur énergétique de la Suisse.

Selon la Stratégie énergétique 2050, la production annuelle moyenne d'électricité hydraulique doit être augmentée de 1,53 TWh par an dans les conditions-cadres actuelles, respectivement de 3,16 TWh par an dans les conditions-cadres optimisées. Sous l'angle des contraintes environnementales et socio-économiques, cette augmentation est extrêmement ambitieuse. Le projet SCCER SoE fournit des solutions novatrices et durables pour les nouvelles centrales hydroélectriques de même que pour l'extension et l'optimisation des schémas existants.

Une flexibilité accrue des centrales hydroélectriques représente aussi un facteur clé dans la perspective d'une pénétration plus large des nouvelles sources d'énergies renouvelables intermittentes telles que le soleil et le vent.

## ▶ TECHNOLOGIE NOVATRICE : EXEMPLE

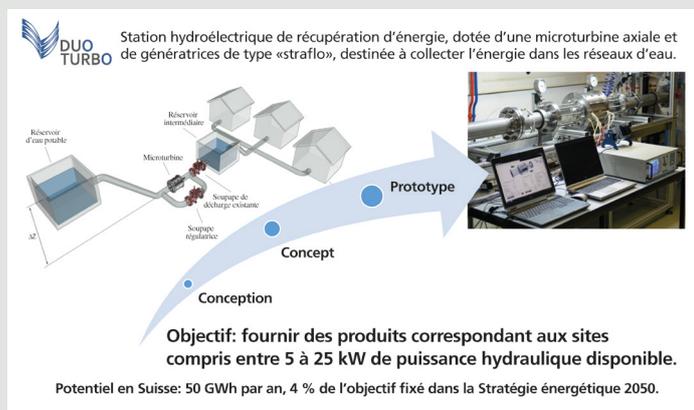


Figure: projet DuoTurbo de la CTI no 17197.1 PFEN-IW

## ▶ RÉSULTATS À CE STADE

- Contrôles morphoclimatiques: nouvelle mesure du transport de sédiments, nouveau système radar aéroporté pour dresser la carte des glaciers, développement d'un nouveau générateur stochastique des conditions météorologiques pour la mise à l'échelle des scénarios climatiques.
- Simulation des systèmes hydroélectriques: évaluation des effets du changement climatique sur l'hydrologie et les activités hydroélectriques si les objectifs de production restent inchangés.
- Études expérimentales et numériques des turbines Francis fonctionnant à plein régime, à régime partiel et à faible régime.
- Développement de stations de récupération d'énergie visant à collecter l'énergie dans les réseaux d'eau (cf. ci-contre).



# CENTRE BFH-CSEM STOCKAGE D'ÉNERGIE (ESReC)

## ► INTRODUCTION

### Qu'est-ce que l'ESReC?

Le Centre BFH-CSEM Stockage d'énergie (ESReC) est un centre de compétence réunissant différents groupes de recherche de la Haute école spécialisée bernoise et du PV-center du CSEM.

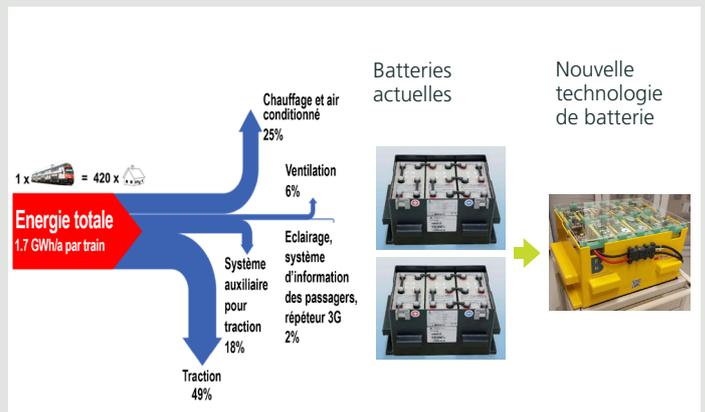
Il a pour vocation la recherche et le développement de **solutions de stockage de l'électricité** pour l'approvisionnement en énergie et la **mobilité**. Ces solutions permettent d'injecter des énergies renouvelables, provenant de la production décentralisée, dans le réseau de distribution suisse et de **remplacer les carburants fossiles dans les transports en électrifiant ces derniers**.

## ► OBJECTIF PRINCIPAL

L'objectif principal de l'ESReC est de faire avancer les connaissances et de développer des technologies qui contribuent à garantir la durabilité du système énergétique suisse.

Le stockage d'énergie est une condition préalable à remplir en vue d'un système de distribution d'énergie fiable, durable et neutre en CO<sub>2</sub>, dont il constitue un élément central. L'injection efficace d'énergies provenant de sources renouvelables, comme l'énergie photovoltaïque et éolienne, dans le réseau électrique à l'aide de solutions de stockage adaptées aux applications stationnaires (systèmes de stockage photovoltaïque) et mobiles (e-mobilité) constitue l'objectif des activités de R&D.

## ► RAIL (BATTERIES, CFF)



Projet de nouvelle technologie de batteries pour les CFF

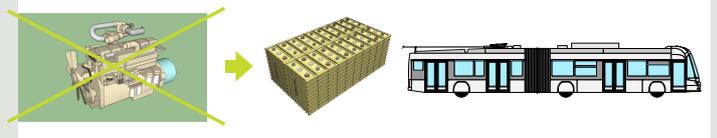
### Objectif:

Réduction de la quantité d'énergie nécessaire à la traction grâce à la diminution du poids

### Missions de l'ESReC:

- Choix de la technologie de batterie et du dispositif de circuit électrique correspondant
- Développement d'un système de gestion des batteries novateur
- Pilotage du nouveau système dans des trains CFF

## ► ROUTE (SWISSTROLLEY+, HESS)



Projet «SwissTrolley+»

### Objectif:

- Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> grâce au remplacement du moteur diesel par des batteries
- Meilleure efficacité énergétique grâce au freinage à récupération d'énergie
- Soutien du réseau de courant continu et évitement de l'extension du réseau

### Missions de l'ESReC:

- Gestion optimisée des batteries » rentabilité accrue
- Développement de modèles » estimation de la durée de vie

## + POUR PLUS D'INFORMATIONS :

### HAUTE ÉCOLE SPÉCIALISÉE BERNOISE

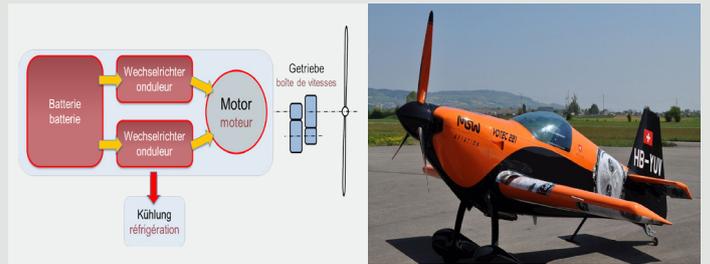
Prof. Dr. Andrea Vezzini, Directeur du Centre BFH-CSEM Stockage d'énergie (ESReC) andrea.vezzini@bfh.ch; esrec@bfh.ch



## AXES PRIORITAIRES

- Caractérisation et modélisation de systèmes électrochimiques de stockage d'énergie électrique
- Développement et étude de systèmes énergétiques et de batteries complets, y compris systèmes de gestion des batteries
- Technologies de fabrication d'éléments et des systèmes de batterie
- Systèmes à piles à combustible décentralisés et mobiles pour un éventuel stockage à long terme sous forme d'hydrogène
- Accumulateurs d'énergie électriques dans le réseau pour l'intégration de sources d'énergie renouvelables
- Accumulateurs d'énergie pour la mobilité et remplacement des carburants fossiles dans les transports routiers, ferroviaires, aériens et nautiques

## AIR (AVION ÉLECTRIQUE, EVOLARIS)



Projet d'avion à moteur électrique «evolaris»

### Objectif:

- Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> grâce au remplacement du moteur diesel par des batteries
- Meilleure efficacité énergétique grâce à la récupération d'énergie dans les vols en descente

### Missions de l'ESReC:

- Choix de la technologie de batterie et développement du système de batterie
- Modélisation et développement du système de refroidissement
- Modélisation et développement d'un moteur électrique novateur

## UN RÉSEAU POUR TOUTE LA SUISSE



**Swiss Battery Research Platform**

- Technology research platform for battery systems for rail, bus, construction, agricultural and utility vehicles



**Chemical Energy Converters**

- Cost reduction for fuel cell systems
- Internal combustion engines: renewable fuels, efficiency increase, zero pollutants

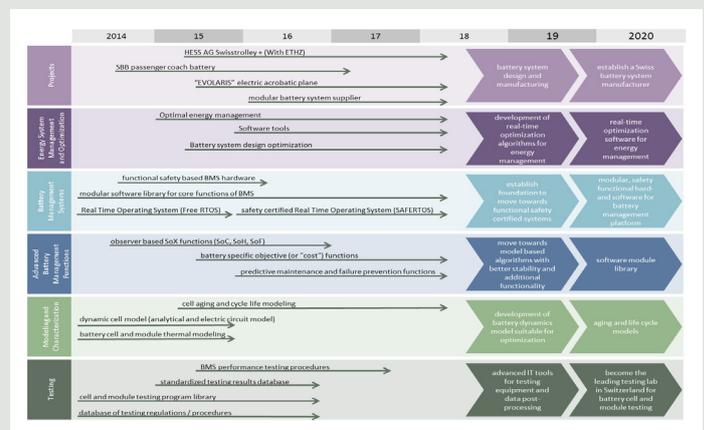


**Minimization of Vehicular Energy Demand**

- High volume lightweight thermoplastics and bioinspired composites
- Thermal management

SCCER-Mobility: Capacity Areas 1, 2 et 3

## FEUILLE DE ROUTE



Feuille de route de l'ESReC



Production à température stable

# DELTA-ZERO

+ POUR PLUS D'INFORMATIONS :

## TECHNIQUE DE PRODUCTION

### INSPIRE SA

Lukas Weiss  
+41 79 373 22 33  
weiss@inspire.ethz.ch

## DISPERSIONS À CHANGEMENT DE PHASE

### HSLU CC TEVT

Dr. Ludger Fischer  
+41 41 349 35 33  
ludger.fischer@hslu.ch

## ▶ DONNÉES CLÉS

### ▶ DURÉE DU PROJET

09.2015–08.2017

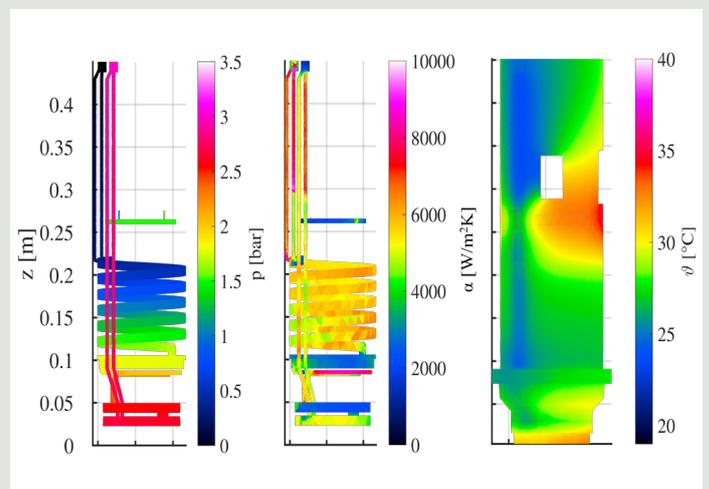
### ▶ MANDANT

Commission pour la technologie et l'innovation CTI

### ▶ PARTENARIATS

Recherche: inspire SA, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung IWF EPF Zurich, Haute école de Lucerne CC Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik  
Mise en œuvre: Step-Tec SA

## ▶ VISUALISER LA TEMPÉRATURE



Perte de pression simulée (p), échange de chaleur ( $\alpha$ ) et répartition de la température ( $\theta$ ) d'une broche outil

## ▶ OBJECTIF PRINCIPAL

A partir de pièces brutes, les centres de traitement produisent par usinage des pièces métalliques hautement complexes, parfois avec une précision micrométrique. Les éléments clés de ces machines sont des broches entraînées électriquement qui actionnent les outils et doivent adapter, en une fraction de seconde, la puissance et la vitesse de rotation en fonction des besoins. Par leur proximité avec le procédé, les broches ont une influence directe sur la qualité de fabrication. Les répartitions variables de la température jouent aussi un grand rôle. L'objectif du projet est de minimiser les gradients de température grâce à un refroidissement par une dispersion à changement de phase et d'optimiser la géométrie du canal de refroidissement par simulation.

## ▶ LIEN AVEC D'AUTRES PROJETS

Tous les partenaires impliqués travaillent en parallèle à différents projets pour améliorer la maîtrise thermique des procédés de production. Un refroidissement ciblé, une conduite des procédés optimisée ou l'utilisation de la chaleur latente peuvent en même temps améliorer le résultat et réduire les coûts. L'importante complexité des analyses thermiques constitue un défi.

Les nouveaux projets portent sur l'analyse systématique et l'harmonisation optimale des sources et du stockage de chaleur et de froid dans la production, les modèles simplifiés pour les systèmes mécatroniques, les interactions des machines avec les installations du bâtiment.

## ▶ AUTRES OBJECTIFS ET MÉTHODES

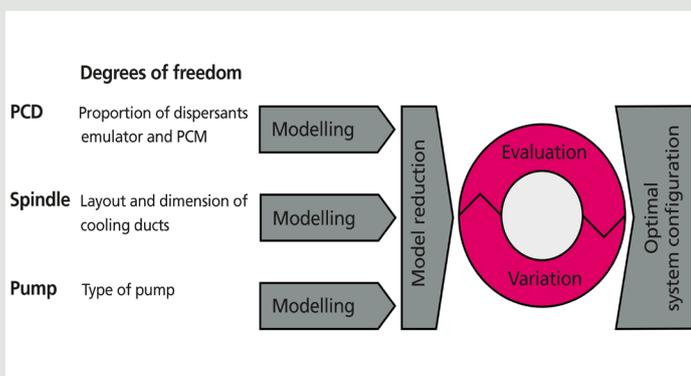
Les dispersions à changement de phase utilisées contiennent des substances qui fondent à la température de procédé idéale de 24°C et qui peuvent ainsi disperser de grandes quantités de chaleur. Les caractéristiques thermodynamiques de ces substances exigent des mesures techniques adaptées qui sont élaborées dans le cadre du projet.

Pour le développement de nouvelles broches comme éléments clés des futures générations de machines dont la productivité et la précision seront supérieures, les propriétés doivent être déjà prévues au stade de développement. Ceci est possible avec des simulations thermiques qui, jusqu'à présent, prennent beaucoup de temps. Avec les nouvelles méthodes, elles peuvent se calculer en quelques secondes.

## ▶ OPTIMISATION GRÂCE AUX MODÈLES

L'optimisation du système dans son ensemble exige la prise en compte des interactions entre les différents éléments. Des méthodes adéquates de réduction de modèles sont développées et mises en œuvre à cet effet.

Lors de futurs développements, ces réductions s'adaptent aisément et accélèrent l'optimisation.



Optimisation du système par les réductions de modèles

## ▶ LIEN AVEC LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

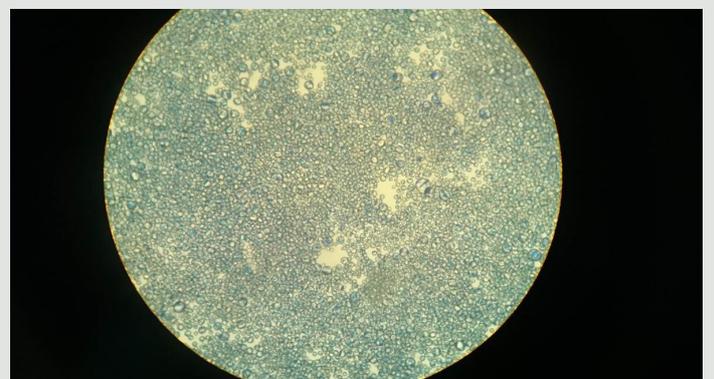
Des efforts d'optimisation sont constamment entrepris au niveau de la production. Mais la forte pression sur les coûts exige des mesures qui soient également rentables: il faut donc économiser l'énergie et les coûts, ce qui est réalisable grâce à une conception adaptée aux besoins et à un réglage intelligent dans l'exploitation. L'énergie est pour ainsi dire remplacée par l'intelligence et les machines intelligentes produisent de meilleurs produits. Il s'agit là de la principale motivation pour l'industrie à réaliser ces mesures.

Les mesures efficaces présupposent une analyse et une recherche de solution individuelles. Toutes les entreprises ne disposent pas des moyens et des compétences requises. Les différents programmes de la Confédération interviennent à ce niveau.

## ▶ RÉSULTATS OBTENUS

Avec les résultats de l'avant-projet portant le même nom, le partenaire de mise en œuvre a déposé un brevet pour cette solution et ainsi protégé l'innovation sur le marché. Les simulations thermiques et les réductions de modèles sont déjà utilisées avec succès.

Des dispersions à changement de phase adaptées ont déjà été produites en laboratoire, comme l'illustre cette image:



# EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET CONNAISSANCES EN MATIÈRE D'ÉNERGIE DANS LES MÉNAGES SUISSES

## ▶ DONNÉES CLÉS

### ➤ TITRE DU PROJET

Underlying energy efficiency and technological change in the Swiss household sector

### ➤ DURÉE DU PROJET

11.2014–05.2018

### ➤ MANDANT

Office fédéral de l'énergie (OFEN)  
Programme de recherche Énergie – économie – société (EES)

### ➤ PARTENARIATS

Fournisseurs suisses

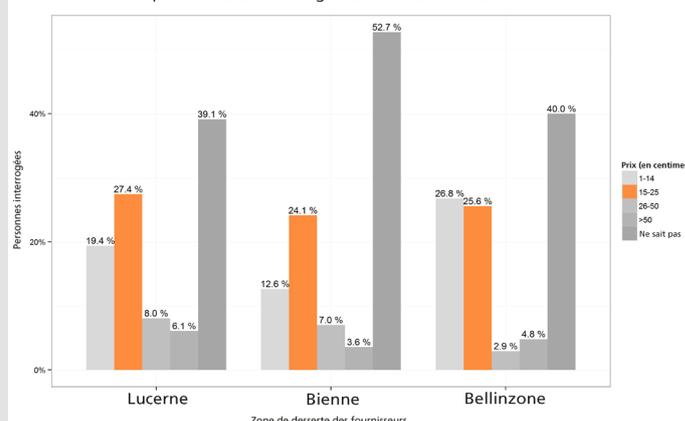
## ▶ MESURER L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

L'objectif principal consiste à utiliser des méthodes économétriques pour estimer la fonction Exploration de la demande d'énergie pour un échantillon d'environ 6000 ménages suisses. Les données de panel (2010–2014) ont été collectées au moyen d'une large enquête menée auprès des ménages en collaboration avec neuf fournisseurs suisses.

En premier lieu, le projet entend présenter une vue d'ensemble complète de la consommation d'énergie des ménages suisses avec des informations sur les habitations, la composition des ménages, les services énergétiques, les appareils, ainsi que les attitudes et les comportements sociodémographiques liés à l'énergie. En second lieu, il vise à estimer le degré d'efficacité énergétique des ménages suisses.

## ▶ CONNAISSANCE DES COÛTS DE L'ÉLECTRICITÉ

Evaluation du prix de 1 kWh d'électricité par les clients de trois grands fournisseurs suisses



## ▶ LIEN AVEC DES PROGRAMMES MDE

L'analyse de l'efficacité énergétique est en lien avec le projet «An Evaluation of the Impact of Energy Efficiency Policies on Residential Electricity Demand in Switzerland» mené par le CEPE en 2015 dans l'objectif d'évaluer des programmes de maîtrise de la demande en énergie du côté du consommateur (MDE) lancés par les fournisseurs d'électricité suisses. Les résultats montrent que l'envergure de ce type de programme est faible en comparaison avec des pays comme les États-Unis, même si les dépenses qui y sont consacrées varient fortement d'un fournisseur à l'autre. Les fournisseurs ont tendance à placer la priorité sur la communication (information et campagnes) plutôt que sur des incitations financières et sur des audits énergétiques.

## + POUR PLUS D'INFORMATIONS:

### EPFZ

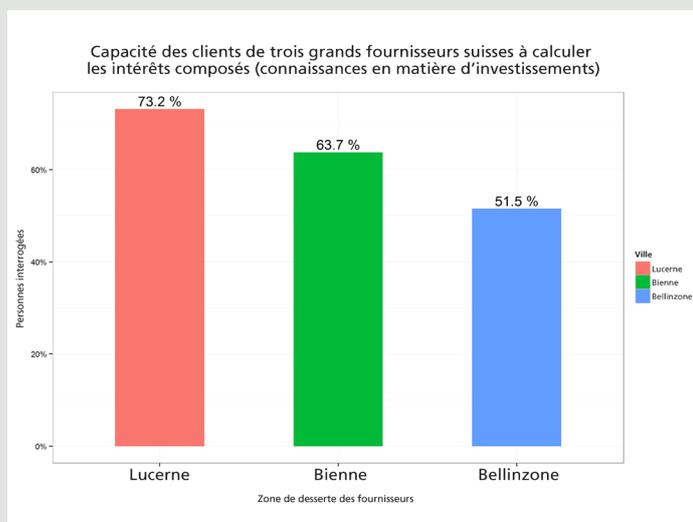
### CENTRE FOR ENERGY POLICY AND ECONOMICS (CEPE)

Prof. Massimo Filippini      mfilippini@ethz.ch  
Dr. Julia Blasch              jblasch@ethz.ch

## ▶ CONNAISSANCES EN MATIÈRE D'ÉNERGIE ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

L'impact des mesures stratégiques et de facteurs comportementaux fera également l'objet d'analyses avec un accent sur l'influence du niveau de connaissance des ménages en matière d'énergie et d'investissement (p. ex. connaissance des coûts de l'électricité et capacité à faire un calcul des investissements) sur le degré d'efficacité énergétique, l'hypothèse étant que les ménages disposant de davantage de connaissances sur les prix de l'électricité et de capacités cognitives plus élevées pour calculer les investissements sont plus susceptibles d'acheter des appareils efficaces. Afin de tester cette hypothèse, une expérience en ligne sur le choix d'appareils électriques efficaces a été intégrée dans l'enquête.

## ▶ CONNAISSANCES EN MATIÈRE D'INVESTISSEMENT



## ▶ STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

Les résultats du projet permettront d'évaluer les objectifs en matière d'efficacité énergétique définis dans la Stratégie énergétique 2050. L'analyse économétrique fournira une estimation du potentiel d'efficacité énergétique dans le résidentiel en Suisse. Étant donné que nous prenons également en compte l'influence de facteurs stratégiques et comportementaux, l'estimation du potentiel d'économie d'énergie supplémentaire des ménages suisses peut être considérée comme étant plus réaliste qu'une estimation bottom-up résultant d'une approche économique/technique. Les résultats du projet donneront également une idée du rôle de la mutation technologique dans les futurs changements au niveau de la consommation d'énergie.

## ▶ PREMIERS RÉSULTATS

En lien avec l'impact des connaissances en matière d'énergie, les résultats montrent que les individus présentant une capacité cognitive plus élevée pour les calculs complexes (cf. graphique à gauche) sont davantage susceptibles de choisir un appareil plus efficace (rentable). Ils révèlent également que le fait d'afficher la consommation d'énergie annuelle en termes monétaires (CHF) plutôt qu'en unités physiques (kWh) augmente la probabilité qu'un individu fasse un choix éclairé. En conclusion, davantage d'efforts devraient être consentis pour donner aux consommateurs les moyens d'évaluer correctement le coût des appareils sur l'ensemble de leur durée de vie, par exemple en mettant à disposition des outils d'aide à la décision aux points de vente.



# RÉNOVATION DE BÂTIMENTS: ÉCART DE PERFORMANCE

## ▶ DONNÉES CLÉS

### ➤ DURÉE DU PROJET

11.2013–12.2016

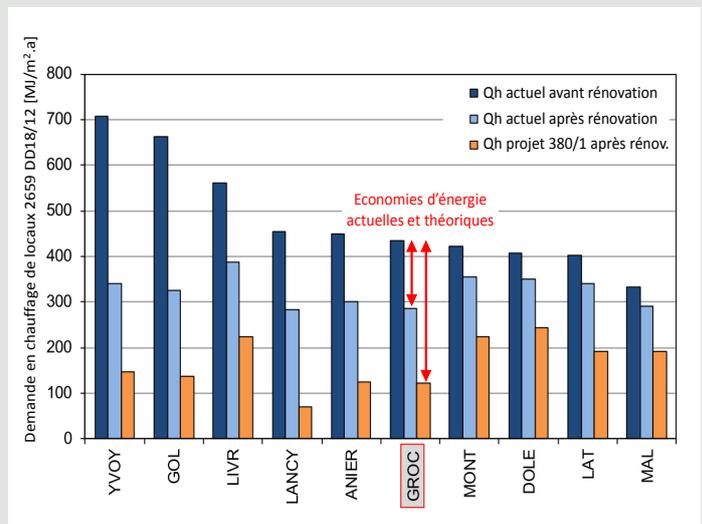
Prolongation prévue au cours de la 2<sup>e</sup> phase  
de SCCER FEED&D

### ➤ ORGANISMES DE FINANCEMENT

Commission pour la technologie et l'innovation (CTI) –  
SCCER FEED&D

Office fédéral de l'énergie (OFEN)

## ▶ ETUDES DE CAS



J. Khoury, (2014)

## ▶ DÉFIS

Vu la lenteur de la transformation du parc immobilier, il convient de mettre l'accent sur la rénovation de bâtiments existants. Dans ce contexte, les principaux défis sont :

- l'estimation du potentiel d'économie d'énergie effectif du parc immobilier, en tenant compte de la performance actuelle de bâtiments rénovés en conditions réelles d'utilisation ;
- la caractérisation de l'écart entre la performance actuelle (réelle) et prévue en matière d'économie d'énergie (écart de performance énergétique) ;
- l'identification de mesures possibles pour réduire cet écart.

## ▶ STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050

La Stratégie énergétique 2050 (SE 2050) mise beaucoup sur la réduction massive de la demande du secteur du bâtiment (46% des besoins d'énergie finale).

Objectif : réduction drastique de la demande de chaleur des bâtiments : 45% d'ici à 2035, 64% d'ici à 2050.

Hypothèses/questions :

- 1) taux de rénovation élevé (quantité)
- 2) performance élevée des rénovations (qualité)

La compréhension et la réduction de l'écart de performance constituent une étape essentielle vers la réalisation des objectifs ambitieux de la SE 2050.

## + CONTACT :

### UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Groupe systèmes énergétiques

Institut des Sciences de l'Environnement/Institut Forel

.....  
jad.khoury@unige.ch, pierre.hollmuller@unige.ch

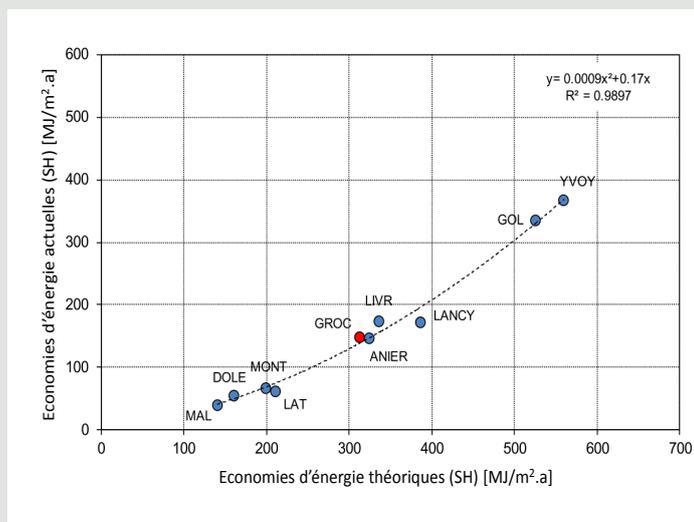
## ▶ PRINCIPAUX OBJECTIFS

- Analyse de l'écart de performance dans la rénovation de bâtiments (conception imprécise, exécution imparfaite, exploitation et maintenance, aspects liés au comportement des utilisateurs).
- Identification et caractérisation des facteurs déterminants en termes de conception, d'exécution, d'exploitation et de comportement des utilisateurs; estimation de l'impact de ces facteurs sur la performance énergétique.
- Estimation du potentiel d'économie d'énergie réel du parc immobilier dans la pratique actuelle.
- Elaboration de conseils sur les mesures à prendre et de recommandations stratégiques pour réduire l'écart en matière de performance énergétique.

## ▶ APPROCHE

- Analyse d'études de cas concernant plusieurs bâtiments d'après-guerre abritant des appartements et ayant été rénovés (~ 25 études de cas, 3000 appartements, 300'000 m<sup>2</sup> de surface utile chauffée).
- Analyse de la performance énergétique mesurée (demande de chaleur SH) avant et après la rénovation et comparaison avec les valeurs de projet (simulation dans des conditions d'utilisation réelles et normalisées).
- Recoupement avec des données concernant l'ensemble du parc immobilier (mise en perspective des résultats au niveau régional/national).
- Constitution d'un groupe d'experts pour les questions liées à l'écart de performance (raisons, mesures à prendre, etc.).

## ▶ PERFORMANCE ACTUELLE VS PROJET



J. Khoury, (2014)

## ▶ RÉSULTATS

Principaux résultats obtenus jusqu'à présent :

- corrélation statistique entre les valeurs prévues et les valeurs réelles en matière d'économie d'énergie ;
- estimation du potentiel d'économie d'énergie réel du parc immobilier dans la pratique actuelle.
- A l'échelle du parc immobilier genevois d'après-guerre : dans la pratique actuelle, **seuls 40% du potentiel théorique en matière de rénovation de bâtiments peuvent être réalisés.**



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN