

## PROGRAMME DE COOPÉRATION ENTRE HES-SO ET EOS HOLDING

<b>Demande de subvention</b>	<b>D_2013_A_02</b>
------------------------------	--------------------

**Titre du projet** (1-2 lignes, destinées à la publication)

**Agrégation de charges flexibles**

**Acronyme**

Agreflex

**Domaine de recherche**

Energie électrique

**Mots clés** (séparés par des virgules)

Gestion de la charge, énergies renouvelables réparties, marché de l'énergie électrique, réseau de distribution, centrale électrique virtuelle

**Objet du projet / brève description** (480 caractères maximum, pour publication)

La consommation d'énergie électrique de certains processus (notamment le chauffage et le refroidissement ou, demain, la charge des véhicules électriques) peut être décalée dans le temps avec des inconvénients nuls ou, tout au moins, acceptables pour le consommateur. Le réseau électrique peut tirer deux avantages d'un pilotage adéquat de cette consommation flexible : les réseaux de transport et de distribution peuvent être utilisés de manière plus efficace ; l'énergie électrique photovoltaïque et éolienne, amenée à se développer très fortement, peut être absorbée avec des capacités de stockage réduites.

Toutefois, le pilotage de ces processus flexibles (la gestion de la charge) est très complexe. Dans le cadre du projet, des algorithmes d'agrégation de charges flexibles qui permettent de piloter individuellement un parc de charges selon des instructions globales d'un exploitant de réseau ou d'un fournisseur d'énergie sont développés. La mise en œuvre de systèmes d'agrégation de charges est aussi abordée d'un point de vue réglementaire (définition du rôle des acteurs et des interfaces entre eux), économique (évaluation des revenus pour le stockage et la gestion de la charge dans un scénario sans énergie nucléaire) et technologique (architecture informatique / télécommunications pour des coûts d'investissement et d'exploitation limités).

**Chef de projet**

Nom	Prénom	Ecole	Tél.	e-mail
Gabioud	Dominique	HES-SO Valais	027 606 87 62	<a href="mailto:dominique.gabioud@hevs.ch">dominique.gabioud@hevs.ch</a>

Co-requérant(s) (si pertinent)				
Nom	Prénom	Ecole	Tél.	e-mail
Marcuard	Jean-Daniel	HES-SO Valais	027 606 87 54	<a href="mailto:jdaniel.marcuard@hevs.ch">jdaniel.marcuard@hevs.ch</a>
Sauvain	Hubert	EIA-FR	026 429 65 85	<a href="mailto:hubert.sauvain@hefr.ch">hubert.sauvain@hefr.ch</a>
Affolter	Jean-François	HEIG-VD	024 557 63 06	<a href="mailto:jean-francois.affolter@heig-vd.ch">jean-francois.affolter@heig-vd.ch</a>
Albuquerque	Paul	hepia	022 546 25 54	<a href="mailto:paul.albuquerque@heig.ch">paul.albuquerque@heig.ch</a>
Robert	Thierry	HE-ARC	032 930 13 54	<a href="mailto:thierry.robert@he-arc.ch">thierry.robert@he-arc.ch</a>
Réalisation				
Début du projet	Juillet 2013	Durée	18 mois	

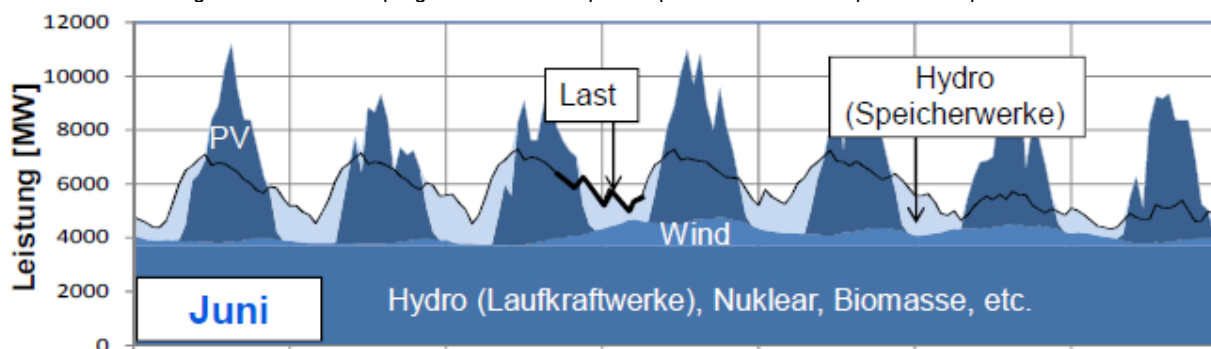
	HES-SO Valais	hepia	EIA-FR	HE-ARC	HEIG-VD
Subvention EOS Holding	CHF 150'000	CHF 85'000	CHF 60'000	CHF 55'000	CHF 50'000

<b>Subvention totale EOS Holding</b>	CHF 400'000
--------------------------------------	-------------

## 1. Contexte du projet

Quel est le problème à résoudre / la problématique dans laquelle s'inscrit le projet ?

Le déploiement des nouvelles énergies renouvelables, avec un fort caractère intermittent, exige le déploiement parallèle de capacités de stockage. La figure ci-dessous présente une estimation des profils suisses de production et de consommation, dans le cas où l'énergie nucléaire serait progressivement remplacée par de l'éolien et du photovoltaïque.



Suisse avec 30 % d'éolien + photovoltaïque (18 TWh) [1]

La gestion de la charge offre des services équivalents à un stockage réparti de courte durée. Elle est en tête du *merit of order* des formes de stockage car son rendement est proche de 100 % et car l'investissement nécessaire se limite à un système de contrôle - commande (pas d'infrastructure pour la double conversion et pour le stockage).

Ce projet s'inscrit dans une problématique double :

### 1. Problématique globale

La stratégie énergétique 2050 de la Confédération prévoit le remplacement de l'énergie nucléaire par des nouvelles énergies renouvelables, essentiellement d'origine éolienne et photovoltaïque. Pour concrétiser cette stratégie ambitieuse, il s'agit non seulement de produire la quantité d'énergie nécessaire, mais aussi d'adapter les profils de production et de charge, par stockage d'énergie et par gestion de la charge. Même si son potentiel est limité, la gestion de la charge est la solution la plus *smart* pour l'adéquation des profils de production et de charge. Cette problématique globale concerne les fournisseurs d'énergie.

### 2. Problématique locale

Un fort développement de la production d'énergie répartie éolienne ou photovoltaïque injectée dans les réseaux basse tension ou moyenne tension peut engendrer localement des courants et des tensions trop élevés aux périodes de forte production. On peut certes renforcer le réseau ou déconnecter temporairement certaines unités de production, mais l'enclenchement de charges flexibles est la solution la plus *smart* car une plus grande partie de l'énergie produite peut être utilisée sans investissements dans le réseau. Cette problématique locale concerne essentiellement les réseaux de distribution.

## 2. Objectifs

Quels sont les objectifs du projet (scientifiques, techniques, artistiques) ?

Le projet poursuit trois objectifs :

1. Nous faisons l'hypothèse que la production nucléaire suisse est remplacée par des nouvelles énergies renouvelables. Dans ce contexte, le projet qualifie les besoins de stockage pour la Suisse et évalue le potentiel de la gestion de la charge, vue comme une forme particulière de stockage. Des paliers intermédiaires (par exemple disparition de la moitié de la production nucléaire en 2025) seront considérés.
2. Exploitants de réseau et fournisseurs d'énergie devraient disposer d'un ensemble de services qui présentent un parc de charges flexibles comme une ressource unique. Le projet définit ces services et élabore des algorithmes qui agrègent un parc de charges flexibles pour offrir ces services.
3. Le projet aborde la mise en œuvre de la gestion de la charge sous les angles réglementaire, économique et technologique, dans un scénario où l'énergie nucléaire est remplacée par des nouvelles énergies renouvelables intermittentes. Sous l'angle réglementaire, il s'agit de déterminer le rôle des différents acteurs (consommateur, exploitant de réseau, fournisseur, éventuellement nouveau rôle d'agrégateur) et d'identifier les changements nécessaires dans le cadre réglementaire suisse. Sous l'angle économique, le projet vise à estimer le revenu d'un service de gestion de la charge, par comparaison avec des formes de stockage d'énergie répartie (batteries) ou centralisée (pompage – turbinage). Sous l'angle technologique, il s'agit de concevoir une architecture basée sur les technologies de l'information et de la communication pour minimiser les coûts de déploiement et d'exploitation. Les aspects réglementaires, économiques et technologiques, fortement interdépendants, seront traités ensemble. La stratégie de déploiement tient compte du fait que l'agrégation concernera d'abord un nombre limité de charges importantes plutôt qu'un grand nombre de charges faibles.

## 3. État de l'art

### 3.1 État de la recherche dans le domaine des travaux projetés avec mention des principales réalisations / publications.

Les activités de recherche dans le domaine de la gestion de la charge peuvent être classées dans deux catégories :

- **Elaboration d'algorithmes de réglage**  
L'objectif de ces activités est d'élaborer des algorithmes qui permettent d'orchestrer la mise en œuvre de charges flexibles dans le but de minimiser une fonction de coût liée au prix de l'énergie et/ou à l'exploitation du réseau électrique. Les travaux réalisés par l'équipe du professeur Goran Andersson de l'ETHZ [3] [4] ou par l'Energy research Centre (ECN) des Pays-Bas [5] sont à classer dans cette catégorie.
- **Conception d'un environnement TIC**  
Dans ces activités, on cherche à définir un environnement TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) qui permette à une entité (typiquement un fournisseur d'énergie / exploitant de réseau) de piloter des charges chez les consommateurs. S'ils prennent en compte l'aptitude au déploiement, tant du point de vue de la technologie que du point de vue contractuel, ces environnements laissent ouvert l'algorithme de réglage (même s'ils imposent souvent des contraintes). A titre d'exemple, on peut citer la plateforme OGEMA<sup>1</sup> [8] proposé par l'institut Fraunhofer IWES.

Par rapport à ces travaux, le projet proposé se démarque de la manière suivante :

- La partie algorithmique du projet se concentre sur l'agrégation (regroupement d'un parc de charges vue comme une ressource unique) alors que la plupart des autres projets abordent essentiellement la partie optimisation (« orchestration » d'un parc de charges pour minimiser une fonction de coûts en respectant des contraintes, voir par exemple [2]).
- L'environnement TIC est abordé uniquement du point de vue de son architecture (pas de développement de prototype) et considéré dans un cadre réglementaire et économique.

### 3.2 État des recherches effectuées par le(s) requérant(s) dans le domaine des travaux projetés avec mention des principales réalisations / publications.

**ATENET** (J.-D. Marcuard) - Développement d'un environnement prototype de gestion de la charge avec réalisation d'une maquette de démonstration [6]

**Smart metering pour éco-cités** (D. Gabioud, J.-D. Marcuard, H. Sauvain) - Conception de services et d'une architecture pour smart-metering

**BizGrid** (H. Sauvain, D. Gabioud) - Calcul de la rentabilité de la gestion de la charge dans la situation actuelle du marché de l'énergie électrique

---

<sup>1</sup> <http://www.ogema-alliance.org>

i-Bat, EnerCA, IDAFE (P. Ferrez) - Analyse de courbes de charges de ménages collectées avec une résolution de 1s en vue d'élaborer des conseils énergétiques automatisés [7]

PENELER (J.-F. Affolter) - Estimation du potentiel des nouvelles énergies renouvelables.

#### 4. Méthodes

Quelles sont les méthodes de recherche envisagées et/ou l'innovation recherchée dans le cadre du projet ?

L'agrégation de charges flexibles est abordée par quatre approches complémentaires :

##### 1. Estimation de la contribution de la gestion de la charge aux besoins du réseau électrique suisse

Il s'agit d'estimer le rôle de la gestion de la charge à moyen – long terme (2020 – 2035) en se basant sur les scénarios de l'évolution de la production et de la consommation d'énergie électrique et sur l'évolution attendue des technologies de stockage. Des projections seront réalisées à partir d'une base de données informatique à établir. Les caractéristiques attendues d'un service de gestion de la charge (délai entre notification et mise en œuvre effective, localisation géographique...) sont élaborées.

##### 2. Elaboration et simulation d'algorithmes d'agrégation

Dans une première phase, les algorithmes d'agrégation publiés dans la littérature scientifique sont étudiés et classés, notamment par rapport au degré d'interaction avec les processus contrôlés qu'ils exigent. Un environnement de simulation est mis en place avec des charges stochastiques simulées et quelques algorithmes d'agrégation. L'outil d'agrégation – qui contient un algorithme d'agrégation – dispose d'une interface aval vers les charges multiples et d'une interface amont qui offre des services aux fournisseurs d'énergie et aux exploitants de réseau (voir figure ci-dessous).



Le tableau suivant présente une esquisse des services de l'interface amont.

Utilisateur	Objectif du service	Exemple	Fonction
Fournisseur d'énergie électrique	Modifier « day ahead » la courbe de charge globale	« Demain : -5 MW entre 17 h et 19 h, + 2,5 MW entre 21 h et 24 h »	Diminuer le prix d'achat moyen du courant
	Réserver des capacités flexibles et activer ces réservations	« La semaine prochaine : ± 5 MW avec préavis de 15 minutes » « Le mardi suivant 13 h : - 5 MW dans 15 minutes »	Offrir de l'énergie de réglage
	Modifier la courbe de charge à court terme	« - 0,4 MWh dans les prochaines 10 minutes »	Diminuer l'énergie d'ajustement
Exploitant de réseau de distribution	Modifier la charge dans une zone donnée	« + 100 kW dans la zone X jusqu'à 16 h »	Régler la tension par action sur des charges locales

Un ensemble de services pertinent pour exploitants de réseau et fournisseurs d'énergie et compatible avec les algorithmes d'agrégation est défini.

Différents types d'interface aval vers les charges sont considérés : voici quelques paramètres susceptibles d'être échangés à travers cette interface : contrôle direct, tarif dynamique, mesures actuelles ou historiques (consommation d'énergie électrique, température, niveau de charge...), modèle de la charge flexible.

##### 3. Conception d'architecture(s) d'exploitation

Une approche interdisciplinaire (économique, réglementaire, technologique) élabore une architecture réalisable pour le déploiement et l'exploitation de systèmes d'agrégation de charges. Il s'agit essentiellement d'une conception qui tient compte également de l'évolution de la normalisation.

##### 4. Mesures sur sites et tests

Des mesures et tests sur deux sites (non identifiés aujourd'hui) seront réalisés pour valider les algorithmes d'agrégation et les architectures d'exploitation. Un test pilote avec la participation d'un fournisseur d'énergie / exploitant de réseau pourrait être réalisé comme suite du projet.

**5. Présentation succincte de l'équipe de recherche** (nom, titre, fonction, compétences et expérience professionnelle en relation avec le projet)

**HES-SO Valais**

Dominique Gabioud ; prof. en télécommunications  
 Jean-Daniel Marcuard, prof. de régulation  
 Dr Pierre-André Salamin, prof. de mathématiques  
 Pierre-André Seppey, adjoint scientifique, physique de l'énergie  
 Dr Pierre Ferrez, adjoint scientifique, traitement de données

**EIA-FR (Fribourg)**

Hubert Sauvain, prof. en réseaux électriques  
 Beat Steiner, collaborateur, analyses économiques et réglementaires pour GRD, bases de données

**HEIG-VD (Yverdon)**

Jean-François Affolter, prof. énergie et systèmes électriques  
 Jacques Bony, adjoint scientifique, Institut de Génie thermique.

**hepia (Genève)**

Paul Albuquerque, prof. en informatique  
 Guido Bologna, chargé de cours en informatique

**ARC (Neuchâtel)**

Thierry Robert, prof énergie  
 Christophe Varidel, adjoint scientifique en énergie

**6. Planification du projet**

6.1 Quelles sont les activités envisagées (les workpackages) ?

<b>WP0</b>	<b>Administration, valorisation</b>	D. Gabioud (HES-SO Valais)
<b>WP1</b>	<b>Evaluation du potentiel des charges flexibles</b> Potentiel des charges flexibles en Suisse, en tant que contribution aux besoins de stockage nécessaire dans le contexte de la stratégie énergétique 2050 Caractéristiques attendues d'un service d'agrégation des charges	J.-F. Affolter (HEIG-VD)
<b>WP2</b>	<b>Modélisation des charges flexibles</b> Processus thermiques (chauffage par pompe-à-chaleur, froid industriel...) et processus pouvant être décalés (charge de batterie de véhicules électriques...)	Th. Robert (HE-ARC)
<b>WP3</b>	<b>Elaboration et simulation d'algorithmes d'agrégation</b> Analyse de l'état de l'art Elaboration d'algorithmes d'agrégation en fonction du type d'interaction avec les charges flexibles Définition de services pour exploitants de réseau et pour fournisseurs d'énergie Simulation des algorithmes et évaluation des résultats	J.-D. Marcuard (HES-SO Valais) P. Albuquerque (hepia) G. Bologna (hepia)
<b>WP4</b>	<b>Conception d'une architecture de déploiement</b> a. Aspects économiques b. Aspects réglementaires c. Aspects technologiques	H. Sauvain (EIA-FR) H. Sauvain (EIA-FR) D. Gabioud (HES-SO Valais)
<b>WP5</b>	<b>Mesures sur sites et tests</b>	D. Gabioud (HES-SO Valais) P. Albuquerque (hepia)

## 6.2 Quel est le calendrier du projet ?

Ce projet est planifié sur 18 mois.

	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Trimestre 5	Trimestre 6
1. Evaluation du potentiel des charges flexibles						
2. Modélisation des charges flexibles						
3. Elaboration et simulation d'algorithmes d'agrégation						
4. Conception d'une architecture de déploiement						
5. Mesures sur sites et tests						

## 6.3 Par quels partenaires du projet seront exécutés les divers travaux de recherche et de développement ?

Les partenaires sont annoncés en en-tête de la présente description.

## 7. Quels sont les résultats attendus et/ou les livrables du projet ?

Numéro	Description	Type	Date	Responsable
D1.1	Scénarios pour la contribution des charges flexibles aux besoins de stockage d'énergie électrique	Fichiers Excel	Trimestre 4	J.-F. Affolter
D1.2	Estimation de la contribution des charges flexibles aux besoins de stockage en Suisse	Document	Trimestre 4	J.-F. Affolter
D2.1	Modèles de charges flexibles	Programmes Matlab	Trimestre 2	Th. Robert
D2.2	Modélisation des charges flexibles	Document	Trimestre 2	Th. Robert
D3.1	Agrégation de charges flexibles : synthèse de l'état de l'art	Document	Trimestre 1	J.- D. Marcuard P. Albuquerque
D3.2	Spécification des interfaces amont et aval des algorithmes d'agrégation	Document	Trimestre 2	J.-D. Marcuard P. Albuquerque
D3.3	Simulation d'algorithmes d'agrégation de charges flexibles	Programmes Matlab	Trimestre 6	J.-D. Marcuard P. Albuquerque
D3.4	Services d'agrégation de charges pour fournisseurs d'énergie électrique et exploitants de réseau	Document	Trimestre 6	J.-D. Marcuard P. Albuquerque
D4.1	Architectures pour le déploiement de service de gestion de la charge en Suisse	Document	Trimestre 6	D. Gabioud H. Sauvain
D5.1	Spécification des tests et mesures sur site	Document	Trimestre 3	D. Gabioud P. Albuquerque Th. Robert
D5.2	Tests et mesures (objectifs, infrastructure, résultats, évaluation)	Document	Trimestre 6	D. Gabioud P. Albuquerque Th. Robert

## 8. Valorisation du projet

Quelles sont les mesures de valorisation du projet envisagées et quand sont-elles prévues ?

**Enseignement** : thèses de bachelor et de master en lien avec le projet.

**Exploitants de réseau / fournisseurs d'énergie** : échanges avec un groupe de suivi de projet ; présentation des résultats lors d'un séminaire (ad hoc ou organisé par des tiers).

**Cadre réglementaire** : proposition à l'OFEN et/ou à l'Elcom de suggestions de modifications du cadre réglementaire (si pertinent).

**Industrie** : partenariat avec des industries pour la création de produits ou de services dans le domaine de la gestion de la charge (propriété intellectuelle à régler le cas échéant).

## 9. Bibliographie et références (maximum 15)

- [1] Dr. S. Linder, ABB Power Systems. Muss die Industrie in Zukunft nach dem Takt von Wind + Sonne arbeiten? Powertage 2012
- [2] A. Agnetis, G. Dellino, G. De Pascale, G. Innocenti, M. Pranzo, A. Vicino. Optimization models for consumer flexibility aggregation in smart grids: the ADDRESS approach. 2011 IEEE First International Workshop on Smart Grid Modeling and Simulation (SGMS)
- [3] F. Oldewurtel, A Ulbig, M. Morari and G. Andersson. Building Control and Storage Management with Dynamic Tariffs for Shaping Demand Response
- [4] J. L. Mathieu, S. Koch, D. S. Callaway. State Estimation and Control of Electric Loads to Manage Real-Time Energy Imbalance
- [5] O. van Pruissen, R. Kamphuis . High concentration of heat pumps in suburban areas and reduction of their impact on the electricity network. PowerTech, 2011 IEEE Trondheim
- [6] J.-D. Marcuard, H. Kronig H., A Vaccari, Ch. Truffer, J. El Hayek. Système avancé de gestion de la charge. Bulletin ElectroSuisse, 5/2011, pp. 42-47
- [7] P. Roduit, Ph. Ballestraz. Analyse automatique des courbes de charge d'un ménage - Identification des principales sources de consommation. Buelletin ElectroSuisse 10s/2012, pp 24-27

## Signature

Lieu, date	Chef de projet
Sion, le 9 janvier 2013	Dominique Gabioud