

## Vers des smartgrid thermiques....

Porteur de la proposition de projet :

Cerema Clermont-Ferrand (DLCF)



tenerdis  
ENERGY CLUSTER



## Contents

<b>01 Objet du projet</b>	<b>2</b>
<b>02 cas d’usages</b>	<b>3</b>
<b>03 Résultats attendus</b>	<b>3</b>
<b>04 Etat de l’art</b>	<b>3</b>
04.1 De l’enregistrement et de l’exploitation de données hétérogènes massives . . . . .	3
04.2 Des chaussées chauffantes et récupératrices d’énergie . . . . .	7

---

## 01 Objet du projet

Le projet proposé focalise sur un défi majeur et crucial pour les services publics et les grands entreprises : améliorer l’efficacité énergétique des parcs immobiliers tertiaires. Le domaine bâtiment consomme près de la moitié de l’énergie finale en France. En Europe, on gaspille beaucoup d’énergie thermique du fait des pertes en ligne, à peu près autant qu’on en consomme, et seulement 15% du chauffage provient d’énergie renouvelable.

Le programme cadre H2020, fixant les contours de la recherche et de l’innovation en Europe, insiste dans ses défis sociétaux sur les enjeux forts liés au chauffage et au refroidissement durable.

Doter un bâtiment d’un système de mesure et de pilotage énergétique efficace, le relier intelligemment à son environnement pour optimiser les échanges énergétiques, utiliser des matériaux naturels pour une meilleure isolation thermique sont des sujets essentiels à traiter si l’on veut parvenir à “mettre sous contrôle” les questions énergétiques liées aux grands ensembles immobiliers. On propose un projet de recherche et d’innovation qui pourrait s’apparenter à la mise au point d’un « smart grid » thermique, en lien avec le concept d’énergie distribuée, popularisé par la « troisième révolution industrielle » de Jeremy RIFKIN.

Il s’agit d’une démarche couplant la route et le bâtiment, susceptible de s’intégrer dans les récentes initiatives TEPOS (territoires à énergie positive) visant à inventer un nouveau paysage énergétique, en combinant les valeurs d’autonomie et de solidarité. La démarche s’inscrit pleinement dans le plan de la route à énergie positive lancé par Ségolène Royal à la COP21 le 3 décembre 2015.

TEPOS

COP21 initiative 4

---

## 02 cas d’usages

A rédiger

---

## 03 Résultats attendus

A rédiger...

un démonstrateur sur un des sites du Locie

un démonstrateur sur le site du laboratoire de Clermont-Ferrand du Cerema

une vitrine internet montrant sur les démonstrateurs l’usage de l’énergie en temps réel, par poste de consommation

Outre la promotion d’un nouveau mode de distribution énergétique autour d’un modèle décentralisé, cette vitrine internet open data aura un rôle pédagogique, permettant aux visiteurs d’évaluer les impacts énergétiques de leurs comportements quotidiens

---

## 04 Etat de l’art

### 04.1 De l’enregistrement et de l’exploitation de données hétérogènes massives

Même si le bureau d’études bâtiment du laboratoire de Clermont-Ferrand du Cerema utilise toujours dans ses projets d’instrumentation des capteurs enregistreurs autonomes, il a commencé à s’intéresser au concept de l’internet des objets (IOT – Internet of Things), déployant un réseau de capteurs connectés sur son propre site.

Côté énergie, le bâtiment du laboratoire utilise le gaz de ville, 6 circuits de chauffage alimentant près de 150 radiateurs. L’installation est régulée au format MODBUS/RS485 par un ensemble d’automates..

Si le laboratoire de Clermont-Ferrand a choisi de développer ses propres capteurs, ce n’est pas pour concurrencer les produits commerciaux existants sur le marché mais pour en maîtriser les aspects métrologiques et conserver une autonomie dans le champ de la mesure physique de paramètres climatiques, qui est une de nos forces historiques.

Le laboratoire de Clermont-Ferrand est positionné depuis les années 1980 sur les conditions météo-dégradées, notamment via sa plateforme de R&D Brouillard&Pluie.

L'idée était de s'intéresser de près au fonctionnement logiciel des smart grids, appelés à s'unir dans un futur pas si lointain au sein d'un gigantesque internet de l'énergie.

Ce réseau d'agents « intelligents », communiquant au format TCPIP, s'appuie sur l'infrastructure RJ45 qui équipe le bâtiment du laboratoire. Il a été retenu d'adresser les questions filaires en premier lieu car les infrastructures filaires sont très répandues, quelle soit de type ethernet ou de type électrique avec une couche de courants porteurs. Toutefois, vu la modularité des objets dont on dispose, il est très facile d'envisager d'autres modes de communication tel que le wifi ou la radio.

La question du stockage des données<sup>3</sup> est le véritable point dur, au coeur de tout projet de monitoring temps réel impliquant des objets connectés.

Les données à collecter sont par nature très hétérogènes, en provenance des capteurs connectés, des installations électriques (real power, apparent power, kWh increment), ou des dispositifs de chauffage (températures des sondes extérieures, température de l'eau dans les circuits de chauffage, état on/off des pompes, etc, etc).

En effet, l'enjeu est bel et bien de disposer de gros volumes de données pour alimenter des algorithmes d'intelligence artificielle afin d'envisager des agents au fonctionnement smart et coopératif. Pour des questions de fluidité, la structure relationnelle des bases de données classiques (RDBMS ou Relational DataBase Management System) n'est pas adaptée au « BigData » et à l'internet des objets, qui nécessite la mise en œuvre d'outils plus légers, issus de la mouvance NoSQL. Dans nos recherches, nous nous sommes ainsi tournés assez vite vers les bases de données de séries chronologiques (TSDB - Time Series DataBases).

Plusieurs moteurs ont été testés dont le fameux RRDTools de Tobias Oetiker, qui présente le désavantage de perdre en précision lorsqu'on s'intéresse à des données anciennes, et Timestore, outil développé en C par Mike Stirling dans les années 2013, aisément accessible en lecture/écriture depuis un serveur HTTP via des requêtes PHP. Timestore est une vraie innovation de rupture. Sur la base d'échanges de données au format JSON, un rendu graphique excessivement fluide est assuré par la bibliothèque AJAX Flot.js. Structurellement, Timestore garantit des temps de requêtes fixes, totalement indépendants du volume d'informations à afficher. De plus, contrairement à RRDTools, cette base est non destructive et conserve l'intégralité des données.

Timestore est le moteur de l'excellent projet Emoncms, logiciel de monitoring énergétique open source développé par l'équipe d'Energy Monitor, projet collaboratif très dynamique mobilisant une quinzaine de développeurs de diverses nationalités :

emoncms.org

Emoncms (cf figure 1) est totalement orienté objet et son architecture logicielle repose sur un port PHP recevant tout le trafic entrant pour l'orienter vers divers modules de traitement, en vue d'un enregistrement dans des flux de données, ou de visualisation.



Figure 1: version mobile et PC d'emoncms

La rapidité d'Emoncms est véritablement impressionnante, même avec des pas de discrétisation très faibles de l'ordre de quelques secondes, grâce à l'utilisation conjointe de Timestore et d'une base de données clef-valeur nommée REDIS, développée depuis 2009 par Salvatore Sanfilippo. REDIS est un système en mémoire à très haute performance, particulièrement bien adapté pour les réseaux sociaux dont le fonctionnement exige une scalabilité sans faille. REDIS permet de conserver l'intégralité des informations en RAM, et donc d'éviter les accès disques, particulièrement coûteux.

Emoncms a été développé pour s'intégrer parfaitement dans l'écosystème de l'internet des objets. Il dispose d'un service Python appelé EmonHub (cf figure 3) lui permettant d'envoyer et de recevoir des messages MQTT (MQ Telemetry Transport) via le broker opensource Mosquitto. Cette fonctionnalité offre la possibilité d'utiliser Node-RED (cf figure 2), éditeur graphique pour l'internet des objets, développé par IBM sous Node.js, environnement bas niveau permettant d'exécuter du javascript non plus dans le navigateur mais sur le serveur. Node-RED permet de créer très simplement des liens Machine to Machine (M2M) entre objets communicant. On peut ainsi envisager d'exploiter au sein d'Emoncms un certain nombre de ressources extérieures, comme des données météo opensource.

<http://openweathermap.org/> ou <https://www.wunderground.com>

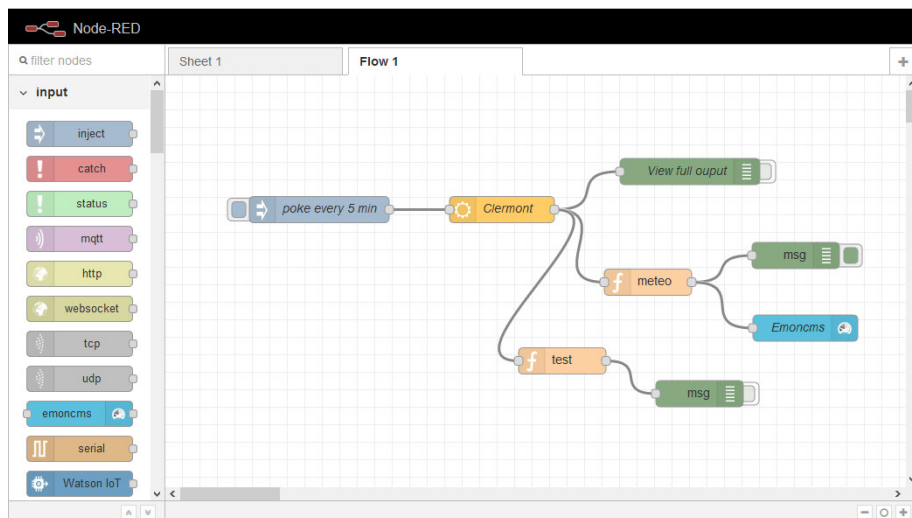


Figure 2: interface graphique du logiciel opensource NodeRED diffusé par IBM

La connectivité avec le monde industriel n'a pas été laissée de côté, EmonHub étant doté d'un module permettant la communication avec les automates au format Modbus ou RS485 qui sont très répandus dans le domaine de la gestion technique du bâtiment (cf figure 4).

Figure 3: fichier log de emonhub

Le laboratoire de Clermont-Ferrand utilise donc son propre site et ses équipements comme une plate-forme de tests grandeur nature dédiée au suivi et à la régulation énergétique, le monitoring temps réel permettant d'apprécier finement le besoin en énergie du bâtiment.

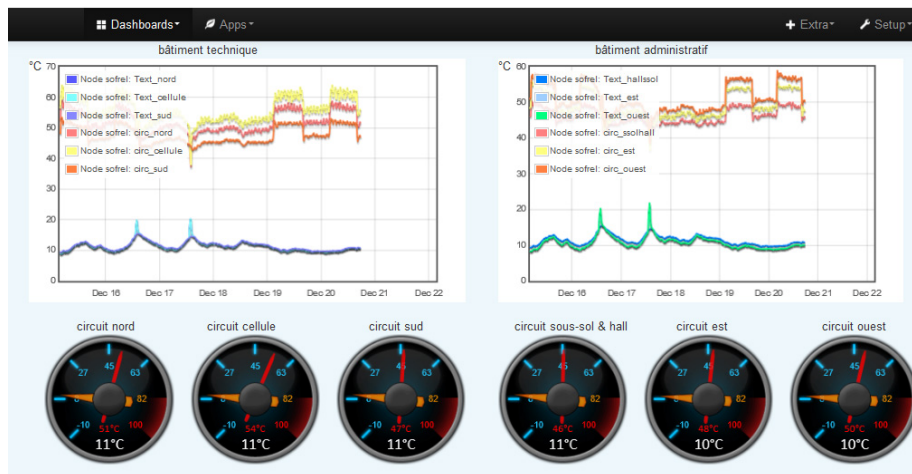


Figure 4: monitoring d'une chaufferie )

## 04.2 Des chaussées chauffantes et récupératrices d'énergie

Parallèlement à ces travaux sur le stockage de données massifiées, une autre équipe du laboratoire de Clermont-Ferrand, l'équipe de recherche mobilité durable et sécurité, a construit un démonstrateur à l'échelle 1 de récupération d'énergie dans les chaussées, constitué d'une chaussée tricouche de 50 m de long par 4 m de large, opérationnel depuis mi 2015, par circulation d'un fluide caloporteur dans une couche de liaison drainante et étanche.

Ce démonstrateur est situé à Egletons, Corrèze, via la convention liant l'École d'Application aux métiers des Travaux Publics et le Cerema Centre-Est

L'étanchéité de la couche de liaison en enrobé drainant est assurée par une chape d'étanchéité de type ouvrages d'art

L'idée de récupérer l'énergie solaire captée par le réseau routier pour mettre hors gel les chaussées n'est pas neuve.

A titre illustratif, en considérant un ensoleillement moyen sur le territoire français de 1400 kWh/m<sup>2</sup>/an, le seul réseau routier national capte 196 milliards kWh/an, soit sept fois plus d'énergie que nécessaire pour assurer son maintien hors-gel par un chauffage direct

Un certain nombre de technologies existent mobilisant entre autre des procédés tubulaires ou à base de résistances chauffantes. Ces technologies sont coûteuses et peu faciles à mettre en œuvre, nécessitant des matériels spécifiques.

A contrario, la technologie sur laquelle travaillent le laboratoire de Clermont-Ferrand et l'IFSTTAR, par l'intermédiaire de son département matériaux et

structures (Jean-Michel Piau), présente l'avantage de ne reposer que sur des procédés de fabrication usuels, avec mise en œuvre de matériaux routiers traditionnels.

Cette technologie thermique poreuse de récupération d'énergie, qu'on pourrait baptiser « dromothermie », fait écho au focus de la dernière COP21 sur la route à énergie positive et a donné lieu à un reportage début 2016 sur la chaîne ARTE dans le cadre du documentaire FutureMag.

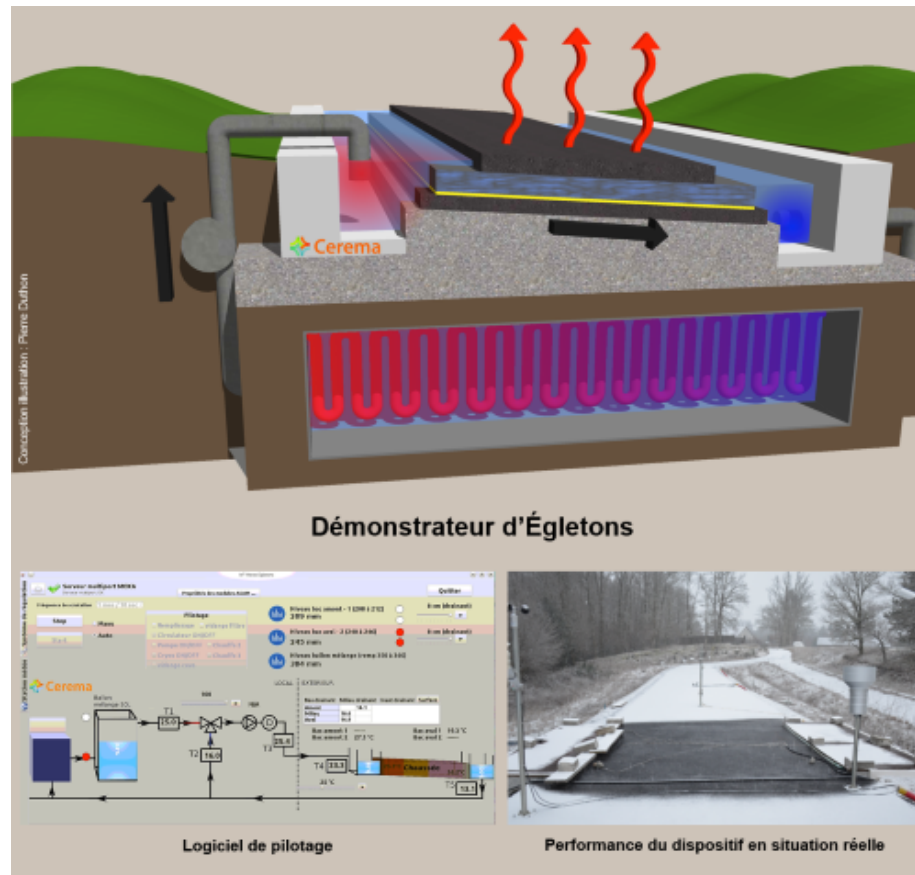


Figure 5: démonstrateur chaussées chauffantes d'Egletons

Les mesures relevées sur le démonstrateur depuis plus d'un an, couplées aux travaux doctoraux de Sarah Asfour [2013 – 2016], portant sur la modélisation de l'échangeur thermique chaussée fluide, permettent de dégager un bilan énergétique favorable entre besoin en chauffage et énergie solaire thermique récupérée, s'élevant à plus de 50 % de l'énergie solaire reçue par la chaussée.

Cette première étape franchie, l'avenir du projet s'oriente vers le stockage de



l'énergie récupérée pour une utilisation ultérieure, notamment de l'été sur l'hiver.

Une étude menée par le Cerema Ile-de-France en 2015 a préconisé diverses solutions et dans le courant de l'année 2017, grâce à une subvention de la direction générale des infrastructures de transport et de la mer du ministère de l'environnement et de l'énergie, le démonstrateur d'Egletons sera doté d'un système de sondes verticales géothermiques instrumentées, afin d'évaluer expérimentalement la capacité du sol rocheux à apporter l'énergie nécessaire à la chaussée pour son maintien hors-gel, ainsi que sa recharge énergétique par la chaussée.

Ce volet énergétique est, depuis mi 2015 le sujet d'étude de la thèse de Grégoire Rivière, focalisant sur le contrôle optimal des modèles couplés chaussée/atmosphère/stockage géothermique, pour caractériser entre autre la capacité calorifique du stockage été sur hiver, et développer des lois de commande d'injection du fluide.

Une troisième thèse est à venir prochainement (Antoine Océane), sous le patronage conjoint du laboratoire de Clermont-Ferrand et de l'équipe géothermie du département géotechnique, environnement, risques naturels et sciences de la terre de l'IFSTTAR (Sébastien Burlon et Philippe Reiffsteck). Cette thèse adressera plus particulièrement les questions des techniques de stockage et d'échange de l'énergie géothermique pour des applications aux bâtiments et aux infrastructures.

Pour dépasser le strict cadre routier, on envisage ainsi de s'intéresser à l'équilibre énergétique de l'ensemble constitué par un réseau routier (comprenant des zones de parking et des voiries urbaines) doté de ses dispositifs de récupération d'énergie et couplé à un réseau de chaleur ou à une boucle d'eau tempérée, eux-mêmes connectés à des bâtiments.

[http://www.ecome.fr/qu-est-ce-qu-une-boucle-d-eau-temperee-\\_l\\_FR\\_r\\_69.html](http://www.ecome.fr/qu-est-ce-qu-une-boucle-d-eau-temperee-_l_FR_r_69.html)

La boucle d'eau tempérée ou le réseau de chaleur peuvent être alimentés par de multiples sources d'énergie (géothermie, récupération, biomasse...) qu'il faudra étudier.

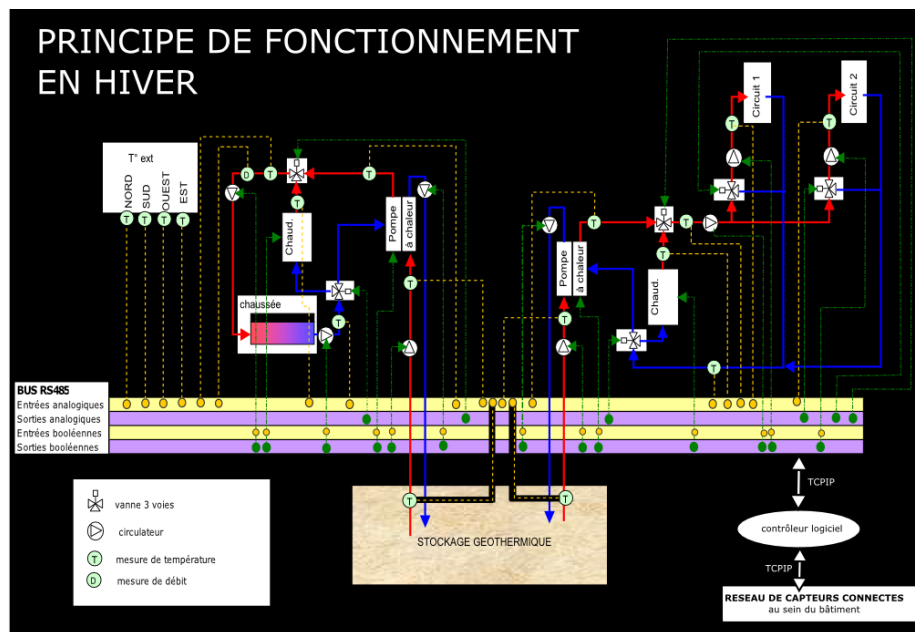


Figure 6: Schéma de fonctionnement en hiver