

L'apport de l'IoT et des technologies Low-Power dans le déploiement des Smartgrid

Auteur : Antoine JUGE

Contexte

Les réseaux électriques aériens de transmission et distribution d'électricité sont coûteux à installer et à entretenir. Ces réseaux sont soumis à des contraintes externes comme des températures ambiantes élevées ou des sollicitations mécaniques (vent, neige, glace, branches) fortes. Les exploitants de ces réseaux cherchent donc à en optimiser les performances - comme vu dans l'article CIGRE « *Ref: 207 Thermal behaviour of overhead conductors* ». [1]. L'enjeu est considérable dans un contexte où la charge en un endroit du réseau tend à être fluctuante en fonction de la disponibilité des énergies renouvelables d'une part et les nouvelles formes de consommation d'autre part.

On peut penser qu'il sera difficile de modéliser l'évolution de tous ces paramètres sans faire appel à des mesures effectuées localement.

Le problème réside dans le fait que ces mesures locales (par exemple une information d'inclinaison ou de température du câble) ne sont souvent pas disponibles.

Le concept décrit ici cherche à remédier ce problème en proposant une solution de capteur innovante.

L'impact environnemental de ce concept pourra se mesurer de différentes manières ; soit par l'optimisation de l'exploitation du réseau existant, soit par la limitation des moyens mis en œuvre pour l'installation et la maintenance, soit par la simplification de l'architecture de communication.

Etat de l'art

Des moyens pour mettre à disposition ces informations ont déjà été développés. Des produits de surveillance sont installés ponctuellement ou à des fins d'investigation. Toutefois, si l'on observe ces solutions, on constate qu'il sera difficile de les généraliser.

En effet les capteurs sont installés sur les lignes aériennes au moyen de grues, ce qui implique un arrêt d'exploitation du réseau et l'obligation de déplacer des moyens lourds. Le coût et l'impact environnemental de ce type d'installation est donc élevé.



Figure 1 : Exemple d'installation d'un capteur Lindsey aux Etats Unis. CIGRE US [2]

Autre exemple en France où RTE installe des capteurs pour mesurer l'inclinaison des câbles.



Figure 2: RTE, le mag [3]

Les solutions proposées font souvent appel à un coffret intermédiaire destiné à relayer l'information.

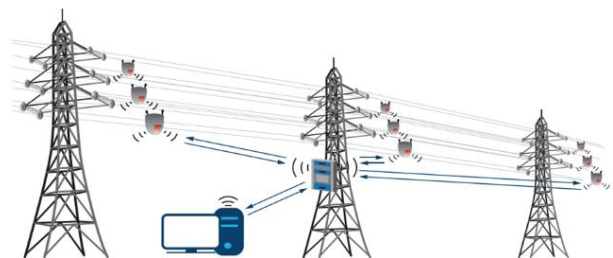


Figure 3 : Indicateur de defaults sans fils avec relais de communication intermédiaires [4]

Démarche

La démarche suivie dans cette étude consiste dans un premier temps à définir ce que serait un capteur idéal en vue d'une installation en masse, puis de trouver les solutions pour rendre ce capteur réalisable en puisant dans les nouvelles technologies.

Ainsi on peut en déduire que le capteur doit répondre aux problématiques suivantes :

1. Il doit pouvoir être installé et désinstallé sans grue.
2. Le capteur doit utiliser des infrastructures de communication et de géolocalisation existantes.
3. Le capteur doit communiquer directement avec les réseaux de communication des opérateurs téléphoniques sans coffret intermédiaire.
4. Le capteur ne doit pas posséder de pile ou tout autre élément nécessitant un remplacement en service.

Solution proposée

Pour répondre à la première problématique, l'idée est d'utiliser un drone radiocommandé pour la pose et la dépose du capteur. Des drones comparables sont désormais utilisés par RTE dans la surveillance visuelle des lignes HT avec des caméras. La nouveauté consiste en l'ajout d'un moyen de préemption du capteur en vue d'une pose pilotée à distance et d'un moyen de verrouillage en position.

Ainsi, le pilote est alors en sécurité au sol. Il dispose d'un écran connecté au drone. Le drone est équipé d'une caméra qui visualise le conducteur HT. Un point de repère visuel permet au pilote de positionner le capteur et d'enclencher le mécanisme de fermeture du capteur sur le câble. De cette façon, on limite l'exposition du personnel à de nombreux risques.



Figure 4 : Surveillance de câble par Aerialtronics [9]

La préemption et l'actionnement du verrou mécanique du capteur sont réalisés avec deux ventouses électromagnétiques portées par le drone. Le capteur contiendrait donc localement deux inserts en matériau ferromagnétique, dont un aurait une action sur le dispositif de verrouillage en position interne au capteur.



Figure 5 : Exemple de ventouse électromagnétique. [5]

Il s'agit aussi de ne pas introduire de risque en suspendant une masse sur les câbles. La taille du drone ne doit pas introduire un risque au niveau de l'isolation électrique de la ligne aérienne.

Il faut regrouper les conditions pour lesquelles le drone puisse être utilisé. Le capteur doit donc être aussi léger que possible, ce qui va nécessiter l'usage de toutes dernières technologies de composants électroniques basse consommation.

Le capteur doit aussi être capable de communiquer avec le relais téléphonique le plus proche, et ce, en consommant peu d'énergie. L'utilisateur pourra ainsi utiliser les réseaux existants et aussi éviter les boîtiers de transmission situés au voisinage des capteurs, qui nécessitent d'être alimentés (coffret sur le poteau figure 3), afin de faciliter le déploiement. Pour cela nous allons faire appel aux technologies IoT.

Une source d'énergie autonome, exempte de pile, effectuera l'alimentation, ce qui nous oriente vers plusieurs possibilités.

Mode de réalisation de l'électronique

Depuis peu, Analog Devices propose une architecture possible d'un indicateur de défauts auto alimenté articulée autour d'un circuit « power management », ou régulateur de tension, apte à fournir une source d'alimentation stable à un microcontrôleur. L'idée est d'adapter cette solution à notre besoin de capteur.

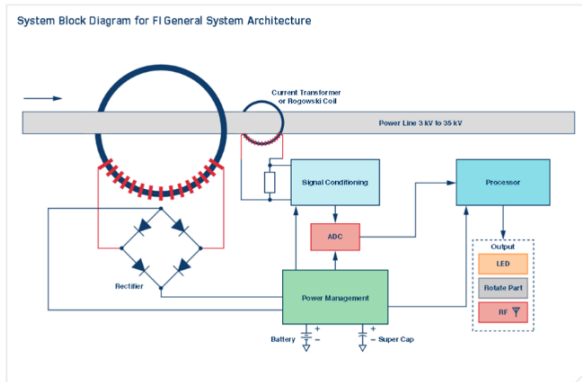


Figure 6 : Solution électronique Analog Devices [6]

Le système est ici alimenté via un transformateur de courant à considérer comme source d'alimentation.

On y trouve aussi une bobine de Rogowski, cette fois pour mesurer le courant, un circuit de conditionnement de signal et un convertisseur analogique numérique.

La réserve d'énergie, nécessaire lors des communications, est effectuée par un supercondensateur ou une batterie (nous retiendrons pour le capteur qui nous intéresse le supercondensateur, qui doit être bien choisi pour tenir durablement aux températures d'utilisation). Enfin un processeur associé à un composant RF permet la communication.

La consommation de cette architecture est très faible. Elle est de l'ordre de quelques mA. C'est une qualité remarquable.

Elle intègre un régulateur de tension aussi compatible en entrée avec différentes sources d'énergie ambiantes et en sortie apte à alimenter un microcontrôleur. Un régulateur qui convient est le LTC3588-1 capable de fournir jusqu'à 100 mA.

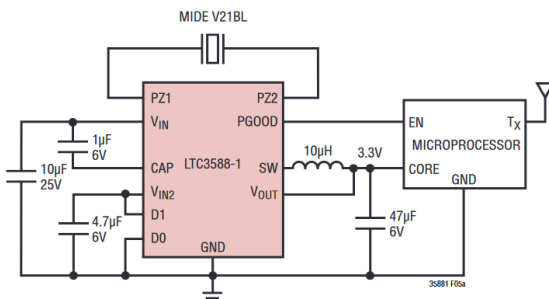


Figure 5 : Exemple d'alimentation d'un microcontrôleur à partir d'un cristal piézoélectrique MIDE [7]

Pour alimenter le système deux solutions sont décrites ici. Une est d'utiliser, comme montré sur la figure 6, un transformateur de courant conçu pour être ouvrant

(circuit magnétique en 2 parties), et bobiné sur un demi-tour afin de regrouper les composants actifs (dont l'électronique) dans une demie coquille du capteur.

Il est aussi possible d'utiliser comme source un cristal piézoélectrique qui fournira de l'énergie en présence de vibrations. Pour amener ces vibrations l'élément piézoélectrique est placé entre deux couches d'un autre matériau ferromagnétique qui subit une déformation sous l'effet du champ magnétique variable.

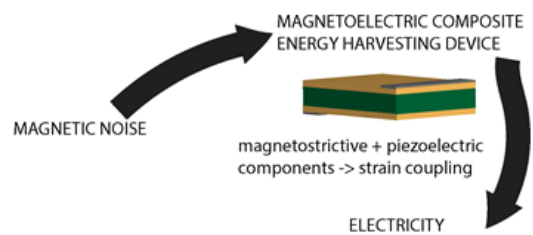


Figure 8: Extrait de publication "Polymer-based magnetolectric nanocomposites for energy harvesting" [11]

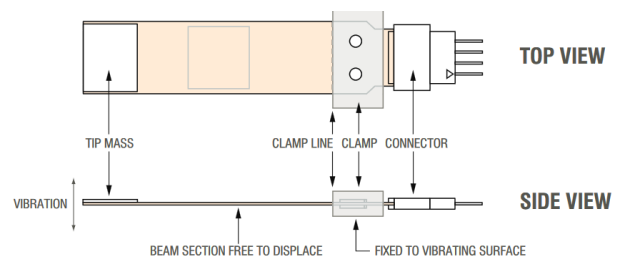


Figure 9 : Exemple « piezo electric energy harvester » selon MIDE Vulture tm

Cet étage permet d'alimenter un microcontrôleur ultra faible consommation par exemple de type STM32L4.

On ajoute ensuite sur les entrées du microcontrôleur ST un accéléromètre « low-power ».

Ces accéléromètres sont produits en masse pour la téléphonie. Le LIS3DH atteint par exemple une consommation de 2µA. L'angle de la ligne aérienne sera déduit des informations provenant de ce capteur.

L'information de température peut être prélevée directement dans le microcontrôleur et via un composant additionnel sur le circuit imprimé. Un calcul indirect peut être prévu pour en déduire la température du conducteur (de la ligne HT).

Le microcontrôleur principal est relié à un boîtier Microchip SIP hautement intégré supportant Lora, le

SAM R34/35. Ce dernier composant dispose lui-même d'un microcontrôleur interne ultra faible consommation, environ 10mA. On trouve à l'intérieur un émetteur récepteur Lora RF (inférieur à 1GHz) capable de communiquer à une distance supérieure à 15km. Nous allons nous attarder sur ce choix bien que des alternatives à cette solution existent.

Il s'agit d'une connectivité sans fil longue portée IoT basée sur la technologie propriétaire LoRaWan. Sécurisée, elle est compatible avec les différents opérateurs de réseaux téléphoniques et bénéficie donc de l'ensemble des relais disponibles en France.

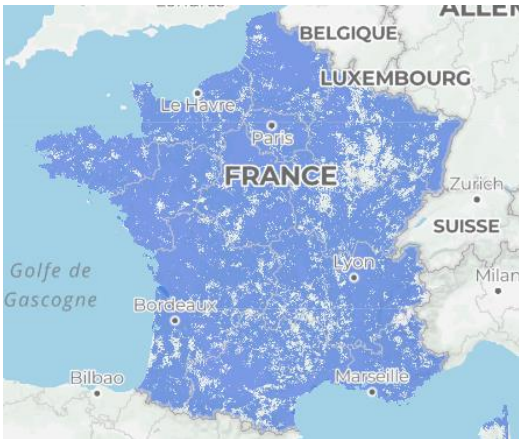


Figure 10 : Réseau et couverture en bleu LoRaWan Objenious (Bourgues Telecom) [7]

Avec cette architecture, il n'est pas nécessaire d'ajouter d'infrastructure réseau, Objenious couvre actuellement 85% de la surface de la France. Rappelons que les capteurs sont géolocalisés par le relais qui capte le signal.

Par comparaison avec les capteurs existants qui peuvent fonctionner en wifi ou Bluetooth (via le coffret intermédiaire), il n'y a donc pas de coffret ni de source d'alimentation externe ni de câble réseau à ajouter. Il n'y a pas non plus de piles.

Mode de fonctionnement :

Le capteur possède un mode de veille et un mode de communication. En veille, il est capable de détecter le franchissement d'un seuil d'alarme.

Dans ce cas un message est envoyé. Il peut aussi recevoir une requête et dans ce cas envoyer une réponse. La communication sans fil est ici activée si besoin pour optimiser le flux des données qui présente un coût, et l'énergie consommée.

De ce fonctionnement avec une quantité de données limitée découle le choix de Lora. D'autres moyens IoT

peuvent néanmoins être envisagés comme LTE-M ou 5G par exemple, en fonction du déploiement de la technologie.

Concernant l'exploitation des données. La solution complète s'appuie sur les développements en cours en matière de Big data. Ceci est possible grâce aux capteurs connectés et rendu nécessaire par le nombre potentiel de capteurs.

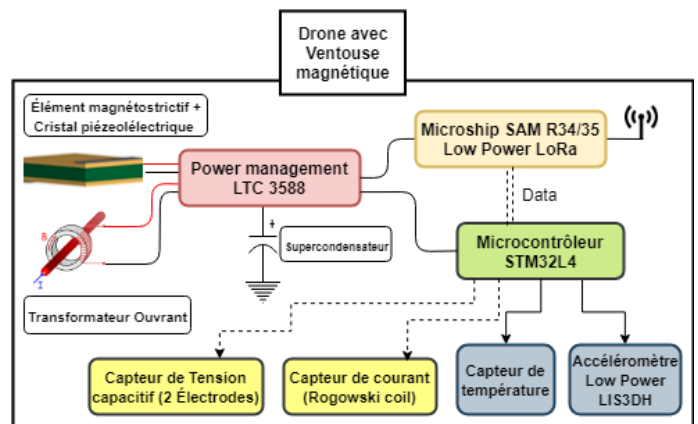


Figure 11 : Schéma de principe du capteur proposé (A.Juge)

Tous ces composants peuvent être implémentés sur un circuit imprimé unique réduisant ainsi les coûts et augmentant la fiabilité de l'ensemble (MTBF).

La figure 11 fait apparaître un capteur de tension capacitif, réalisé au moyen de deux électrodes placées dans le champ électrique [8]. Cette solution originale a été envisagée comme source d'alimentation avant qu'une simulation sous Spice montre une source d'énergie limitée en raison de la valeur des capacités. Cependant on peut utiliser ce diviseur capacitif pour la mesure de la tension AC.

Ainsi, avec toutes ces mesures, on ouvre des perspectives en vue de réaliser un véritable détecteur de défaut. À noter qu'avec une acquisition suffisante, l'accéléromètre pourrait détecter des mouvements anormaux du conducteur. Les capteurs de tensions et courant pourraient être connectés aux convertisseurs analogiques numériques intégrés du STM32L4.

En conclusion, nous pouvons dire que les avancées simultanées dans l'électronique basse consommation et les technologies de communication IoT et de stockage et d'exploitation des données du Big data, rendent possible la réalisation de capteurs conçus pour être déployés en quantité et en intelligence avec l'environnement.

Bibliographie

- [1] CIGRE Study Committee : 22 , «Ref:207 Thermal behaviour of overhead conductors.,» CIGRE, 2002.
- [2] J.C. MCCALL†, P. SPILLANE, K. LINDSEY, «Determining Crossing Conductor Clearance Using Line-Mounted LiDAR,» CIGRE US National Committee, 2015. [En ligne]. Available: <http://cigre-usnc.tamu.edu/wp-content/uploads/2015/10/McCall1.pdf>.
- [3] RTE, «Des capteurs pour mesurer l'inclinaison des câbles,» 03 2018. [En ligne]. Available: <https://lemag.rte-et-vous.com/actualites/des-capteurs-pour-mesurer-linclinasion-des-cables>.
- [4] Swarnab Banerjee, «The Next Generation of Line Sensors: Power Harvested, Connected, and Lower Maintenance,» Analog Devices, [En ligne]. Available: <https://www.analog.com/en/technical-articles/the-next-generation-of-line-sensors.html>.
- [5] Izyx, «Ventouses électromagnétiques rondes IP 65,» [En ligne]. Available: <http://www.izyx-systems.com/Catalogue-164-emr.html>.
- [6] Analog Devices, «Innovative Line Sensor Design with ADI Energy Harvesting and Low Power Signal Chain,» [En ligne]. Available: https://www.analog.com/en/technical-articles/innovative-line-sensor-design.html?fbclid=IwAR1dHR4n3_UPSBsy-pwgNESiIL8FY3zYVbMTdEWKo6NWFkg3IR0sa6DsPmE.
- [7] Objenious, «Le réseau dédié aux objets connectés,» Objenious Bouygues Telecom, [En ligne]. Available: <https://objenious.com/reseau/>.
- [8] W. H. D. X. S. L. a. K. Z. Qiang Zhou, «Study and Experiment on Non-Contact Voltage Sensor Suitable for Three-Phase Transmission Line,» Vittorio M. N. Passaro, 2016.
- [9] AerialTronics, «Drone solution for Powerline Inspection,» [En ligne]. Available: <https://www.aerialtronics.com/en/applications/drones-for-powerline-inspection#intro>.
- [10] L. Technology, *LTC3588 Datasheet*.
- [11] C. B. & S. Kar-Narayan, «Polymer-Based Composites: Fundamentals and Applications - Energy Harvesting,» Wiley, 2017.