

Université  
de Liège



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

THÈSE DE DOCTORAT

---

Exploitation optimale des lignes  
électriques aériennes à haute tension  
par évaluation en temps réel de la  
flèche des conducteurs et du vent  
agissant sur la portée

---

Bertrand GODARD

*Superviseur* : Prof. Jean-Louis LILIEN

2014

Copyright ©University of Liège

All rights reserved



# Abstract

The primary concern with the electrical loading of high-voltage overhead lines is ground clearance, which depends on several factors, including constantly varying weather parameters. Sagging of the conductor, the main safety criteria, is due to (thermal) expansion of the line, a complex function of air temperature, solar radiation, local wind and actual current.

A patented (patent US 8184015B2) method (based on a smart sensor named Ampacimon<sup>TM</sup> attached directly to an overhead line conductor) to directly measure the sag of overhead transmission line conductors is described. The main advantage of the concept is the real time direct measurement of the sag needed for the operation of the transmission or distribution system without the need for any additional and intermediate data, such as for example load, topological data, conductor tension, conductor temperature, and ambient weather conditions.

The sag is determined by analyzing the conductor's vibrations, detecting the span's frequencies of vibrations. The fundamental frequencies form the exact signature of the span. Exterior conditions such as load, weather, topology, suspension movement, creep and the presence of snow and ice affect the sag, and, therefore, are automatically incorporated into the frequency of vibrations. Thus, this method is a direct sag evaluator compared to other methods that determine the sag based on conductor temperature or conductor tension measurements and inferences about other parameters (mass of conductor, span length, ...). Moreover, sensor and method does not need to be calibrated, as the sag is deduced from the detected frequencies and not from signal amplitude. Completed field tests have confirmed that the method (and sensor) gives appropriate and highly accurate sag measurements (less than a 20 [cm] margin of error).

The wind speed has a dramatic impact on power line ampacity as it is the main variable responsible for cooling down the conductor, and hence for the sag value. However, a single-spot measurement does not allow knowing the global effect of the wind over the whole span, in particular for low wind speeds (typically for wind speeds whose component perpendicularly to the

conductor axis lower than 2-3 [m/s]) which are dramatic for ampacity (ampere capacity) determination.

A patented (patent WO 2014090416 A1) direct method (based on a smart sensor named Ampacimon <sup>TM</sup> attached directly to an overhead line conductor) for measuring a perpendicular wind speed component with respect to a suspended cable span is presented. Appropriate data analysis coupling conductor's motion frequency detection, Strouhal equation and swing angle measurement gives a full picture of any wind speed. As the cable moves as a whole, the presented method provides a value which is representative of the mean perpendicular wind speed effect along the entire suspended cable span.

In the past, the difficulty of predicting weather parameters and sag has resulted in conservative assumptions to ensure public safety and power-system security. If transmission system operators are to increase the use of the overhead line circuits' load-transfer capacity while ensuring the regulatory clearances above ground are maintained, they need a system that determines the available real-time load-transfer capacity, conductor sag (and perpendicular wind speed) by direct measurement, without the need to factor in unreliable parameters. The methods and system presented in this work will open new insights to power system network management in many aspects, from congestion management to preventive maintenance.

# Résumé

La première préoccupation dans la gestion des lignes électriques aériennes est le respect des distances d'isolement entre le conducteur et les obstacles, distances qui dépendent de plusieurs facteurs dont les paramètres météorologiques qui changent constamment. La flèche du conducteur (une image des distances d'isolement) est liée à l'allongement (thermique) du conducteur électrique. Cet allongement est notamment fonction de la température ambiante, de l'ensoleillement, du vent et du courant parcourant le conducteur.

Une méthode protégée par brevet (patent US 8184015B2), basée sur un capteur intelligent appelé Ampacimon<sup>TM</sup> directement installé sur la ligne électrique aérienne, de détermination directe de la flèche des conducteurs aériens est décrite. L'avantage principal de cette méthode est la détermination directe en temps-réel de la flèche sans aucune donnée externe comme par exemple la charge électrique, les données topologiques de la portée, la traction dans le conducteur, la température du conducteur ou les conditions météorologiques ambiantes.

La flèche est déterminée à l'aide des vibrations du conducteur. Ces fréquences de vibrations représentent la carte d'identité vibratoire de la portée. Les conditions externes comme la charge, les conditions météorologiques, le mouvement des chaînes de suspension, le fluage et la présence éventuelle de neige ou de glace affecte la flèche et sont par conséquent automatiquement intégrées dans le contenu fréquentiel du mouvement du conducteur. Cette méthode est donc une évaluation directe de la flèche à l'opposé des méthodes indirectes qui déterminent la flèche en se basant par exemple sur la température du conducteur, la traction mécanique dans le conducteur et sur des inférences concernant certains paramètres (masse du conducteur, longueur de portée, ...). De plus, le capteur et la méthode ne nécessitent aucun calibrage puisque la flèche est déduite des fréquences de vibrations, pas des amplitudes. Des essais de terrain ont prouvé que la méthode (et le capteur) évalue(nt) la flèche de manière appropriée et très précise (marge d'erreur inférieure à 20 [cm]).

L'effet du vent sur l'ampacité des lignes électriques aériennes est considé-

rable puisque c'est la variable principale responsable du refroidissement du conducteur et par conséquent une variable importante influençant la flèche. Malheureusement, une mesure locale de la vitesse du vent ne permet pas de connaître directement l'effet global du vent sur l'entièreté d'une portée. C'est d'autant plus vrai pour les vents faibles, dont la composante perpendiculaire au conducteur est inférieure à 2-3 [m/s], déterminants pour l'évaluation de l'ampacité (la capacité de transport) des lignes électriques.

Une méthode directe protégée par brevet (patent WO 2014090416 A1), basée sur un capteur intelligent appelé Ampacimon<sup>TM</sup> directement installé sur la ligne électrique aérienne, permettant de déterminer la composante du vent perpendiculaire au conducteur est présentée. La détection fréquentielle du mouvement du câble et l'équation de Strouhal est couplée à la mesure de l'angle de balancement transversal du conducteur permettant ainsi de déduire la composante perpendiculaire du vent agissant sur la portée puisque le conducteur bouge dans son ensemble.

La difficulté d'évaluation des paramètres météorologiques (et de la flèche) a imposé dans le passé des hypothèses conservatives garantissant la sécurité des utilisateurs et la sûreté du système électrique. Si les gestionnaires de réseaux veulent augmenter les capacité de transport des lignes électriques tout en garantissant le respect des distances d'isolement, ils ont besoin d'un système qui détermine en temps-réel la capacité de transport réelle, la flèche (et le vent agissant sur la portée) par mesure directe, sans le besoin de recourir à des grandeurs souvent méconnues. Les méthodes et le système présentés dans ce travail ouvrent les portes d'une surveillance intelligente des systèmes électriques à de nombreux égards, du contrôle et de la gestion des congestions à la maintenance prédictive.