

Jicable'23 International conference

Retour sur la 11^{ème} conférence sur les câbles d'énergie isolés

Michel Pays

Coordinateur technique et scientifique
Jicable

Présentation générale

Jicable est le rendez-vous incontournable de la recherche, des développements, des applications industrielles et plus généralement des sujets en lien avec les différentes étapes du cycle de vie des liaisons d'énergie par câbles isolés. La conférence Jicable se tient tous les quatre ans depuis plus de 40 ans.

Pour sa 11^{ème} édition, la conférence Jicable'23 a quitté Versailles. Elle s'est tenue pour la première fois au Centre des Congrès de Lyon, du 18 au 22 juin 2023. Plus de 1000 participants (industriels, gestionnaires de réseaux, universitaires), provenant de 50 pays différents, se sont réunis et ont suivi les 308 présentations réparties en 47 sessions plénières et quatre sessions posters. Les auteurs et coauteurs des conférences provenaient de 36 pays

(73 % d'européens, 10 % d'américains et 18 % du reste du monde dont l'Asie).

Sur le plan technique et scientifique les thèmes étaient à la fois nombreux et variés : matériaux, dimensionnement, fabrications, pose et installation des câbles et accessoires de la basse tension à la très haute tension tant à courant alternatif que continu, méthodes d'essais, de diagnostic, lois de vieillissement, comportement mécanique statique et dynamique des

systèmes de câble, retours d'expérience, grands projets actuels et futurs, empreinte environnementale des systèmes de câbles isolés aux différentes étapes de leur vie, ...

Quatre tutoriels ont permis à un public attentif d'approfondir les sujets suivants : (1) les liaisons supraconductrices, leur dimensionnement, et les applications dans les réseaux ; (2) les matériaux pour les câbles isolés tant à courant alternatif



Figure 1 : Auditorium du palais des congrès de Lyon – Jicable23.



Figure 1 : Serge Haroche – Prix Nobel de physique 2012 – Jicable23.

que continu et les défis associés ; (3) les méthodes d'évaluation et de diagnostic permettant une gestion optimisée des actifs des réseaux moyenne tension ; (4) les perspectives concernant les réseaux moyenne tension à courant continu. Le contenu de ces tutoriels est développé dans la suite de cette présentation générale.

Plusieurs conférences invitées et « key notes » ont complété ce moment de débats et d'échanges. **Serge Haroche**, prix Nobel de Physique 2012, a conquis un public attentif en exposant l'histoire du laser et de ses applications. Son exposé a permis de souligner l'importance des travaux sur les lasers qui au cours des soixante dernières années, ont permis à 40 chercheurs d'être récompensés par un prix Nobel.

En ouverture de la conférence, **Valérie Daloze**, responsable du programme maritime chez ELIA le gestionnaire de réseau de transport d'électricité belge, a dressé le panorama du grand projet « Princess Elisabeth » de hub électrique offshore développé par sa compagnie.

L'île « Princess Elisabeth » abritera les infrastructures de transport d'électricité permettant de raccorder jusqu'à 3,5 GW d'énergie éolienne offshore et constituant un point d'interconnexions avec la Belgique, le Royaume Uni et le Danemark. Cette plateforme combinera des réseaux de courant alternatif (AC) et de courant continu à haute tension (HVDC). Les travaux débuteront en 2024 pour s'achever en 2026. Les premières éoliennes devraient être raccordées en 2028.

Sophie Barbeau d'Europacable, l'association européenne des constructeurs de câbles électriques, a présenté les défis à relever par cette industrie pour un développement durable. De son côté, **Carl Erik Hillesund**, spécialiste norvégien intervenant au nom d'ENTSOE, l'association européenne des gestionnaires de réseaux de transport d'électricité, a souligné les risques d'une limitation éventuelle de l'emploi du plomb par la communauté européenne (Directive REACH) pour l'industrie du câble et particulièrement pour les usages sous-marins, le plomb étant un système d'étanchéité très efficace.

Pendant cette semaine de conférences, une exposition d'équipements (câbles et accessoires, matériels de laboratoires, ...) a réuni 37 exposants. Le public a pu déambuler sur le lieu d'exposition en particulier durant les pauses et dialoguer avec les exposants.

Plusieurs visites techniques ont été proposées aux participants : la centrale nucléaire de Bugey, le centre de formation de RTE, l'institut Supergrid et le Musée Ampère. Ces visites ont attiré de nombreux congressistes et ont été fort appréciées.

Enfin, ce fut l'occasion pour plusieurs Groupes de Travail du Comité CIGRE B1 (Câbles Haute Tensions) de se réunir en fin de conférence.

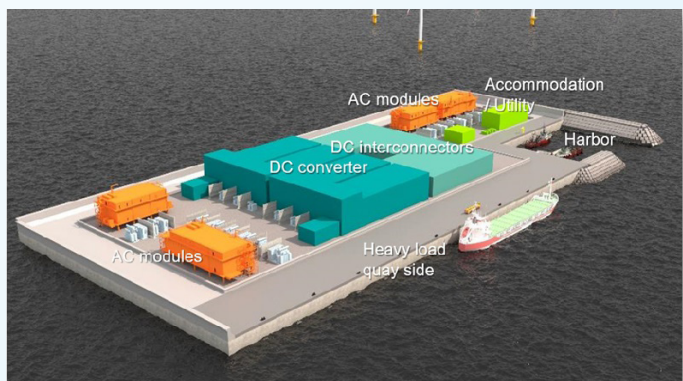
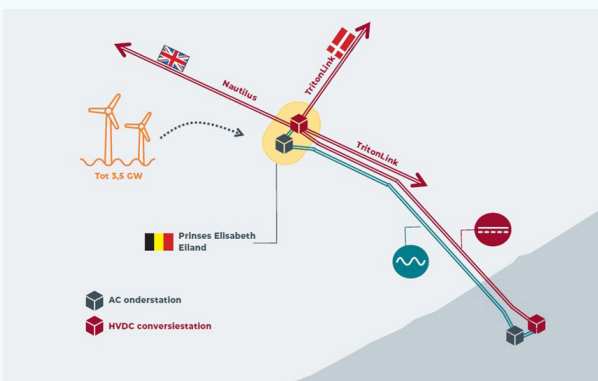


Figure 3 : Projet « Princess Elisabeth » - hub électrique en mer du Nord (source ELIA).



Figure 4 : Exposition industrielle en parallèle des conférences Jicable23.

●●● Les Tutoriels

Quatre tutoriels ont été organisés en préambule de la conférence. Ils ont porté sur les sujets suivants :

- Les liaisons supraconductrices, leur dimensionnement, et les applications dans les réseaux ;
 - Les matériaux pour les câbles isolés tant à courant alternatif que continu et les défis associés ;
 - Les méthodes d'évaluation et de diagnostic permettant une gestion optimisée des actifs des réseaux moyenne tension ;
 - Les perspectives concernant les réseaux moyenne tension à courant continu.
- Le contenu de ces tutoriels est développé dans la suite de cette présentation générale.

En voici le résumé :

Le dimensionnement des câbles supraconducteurs, leur intérêt et les applications dans les réseaux animé par Jean-Maxime Saugrain, Nexans.

Lorsque l'on souhaite augmenter la puissance transportée de liaisons existantes, il apparaît très souvent difficile de les renforcer simplement en rajoutant des circuits,

particulièrement en zones urbaines. Aussi, les solutions par câbles supraconducteurs peuvent être une aide pour les gestionnaires de réseaux. Plusieurs démonstrateurs fonctionnent actuellement dans le monde et permettent d'en souligner l'intérêt. Bien sûr, les liaisons supraconductrices ont un coût plus élevé que les liaisons traditionnelles par câbles isolés mais elles peuvent *in fine* générer des économies (génie civil, équipements des postes, ...) et peuvent avoir un meilleur impact environnemental. Le tutoriel a abordé tous ces sujets (dimensionnement, applications, bénéfices, ...). Les projets les plus emblématiques ont été présentés ainsi que les perspectives à plus long terme.

Les matériaux pour câbles isolés HTCA et HTCCA : les défis scientifiques et les questions à résoudre animé par Gilbert Teyssedre (Université de Toulouse) et Petru Nothinger (Université de Montpellier).

Les matériaux utilisés pour l'isolation des câbles ont évolué au cours du temps et cette évolution a été guidée à la fois par les problèmes à résoudre et les évolutions des procédés. Jusqu'à la fin des années 90, le polyéthylène réticulé (XLPE) et les réseaux HT à courant alternatif étaient dominants. Mais ensuite, le développement important des réseaux haute tension à courant continu a conduit à rechercher de nouveaux produits pour réduire le risque d'augmentation du champ électrique interne par accumulation de charges d'espace. Ainsi le polyéthylène réticulé (XLPE) est en concurrence avec des résines thermoplastiques ou des nanocomposites qui offrent de meilleures performances. Le tutoriel a fait l'historique de ces évolutions. Il a mis en évidence les exigences pour les différentes applications, et a abordé les lois qui régissent le comportement des matériaux sous champ alternatif ou continu ainsi que les moyens de mesure associés.

Méthodes d'évaluation et de diagnostic pour la gestion des actifs des réseaux Moyenne Tension, par Jean-François Drapeau, JFD CableDiag, Canada.



Figure 5 : Tutoriel organisé lors de Jicable23.

Le but de ce tutoriel, issu des réflexions d'un groupe de travail CIGRE B1-58, était de présenter des stratégies d'évaluation de l'état de réseaux Moyenne Tension à l'aide de la combinaison de différentes techniques de tests. En effet, les guides actuels proposent des méthodes d'essais individuels (essais à très faible fréquence, mesures de décharges partielles, ...) et de ce fait sont limitatifs. Le tutoriel a donc abordé plusieurs aspects : les options et les principes d'évaluation de l'état de réseaux Moyenne Tension, la construction de stratégies prenant en compte les différentes étapes du cycle de vie (essais après pose, après réparation, pendant la maintenance) ainsi que les différentes technologies de câbles (extrudés, papier, mixtes). Le tutoriel a aussi effectué un panorama des différentes techniques de tests, et a présenté divers exemples pratiques à partir des recommandations faites par le GT B1-58.

Les perspectives des réseaux Moyenne Tension à Courant Continu (MTCC) : applications, fonctionnement, équipements et systèmes de câbles, animé par Piotr Dworakowski et Martin Henriksen, Supergrid Institute.

La technologie de distribution par réseaux moyenne tension à courant continu est émergente. S'il est clairement démontré que le transport d'énergie sous HTCC¹ est une solution efficace pour le transport sur

de longues distances et à puissance élevée, la technologie MTCC² est attractive pour certaines applications comme celles qui requièrent un contrôle de flux de puissance élevé. Plusieurs expérimentations ont été développées en Chine et en Europe dans le cas de réseaux avec de la production photovoltaïque et/ou éolienne. Toutefois, les bénéfices réels apportés par cette technologie doivent être évalués projet par projet. En effet, cette technologie requiert des équipements spécifiques (convertisseurs, disjoncteurs), avec des contraintes particulières sur les matériels tels que les câbles et accessoires (dépendance au champ électrique, à la température, aux contraintes électriques transitoires, ...), de plus elle implique aussi des modèles numériques adaptés pour le dimensionnement des réseaux. Tous ces différents aspects ont été abordés lors du tutoriel : des études de cas, la comparaison entre réseaux MTCA et MTCC en fonction de l'étendue du réseau, de la tension et de la puissance à distribuer, les architectures possibles, les convertisseurs, les modélisations et les impacts de différents défauts et régimes transitoires.

Les sessions plénières et posters

La présidence du comité scientifique et technique de Jicable'23 était assurée par **Roland Zhang**, Tennet, un des quatre

gestionnaires de réseau de transport en Allemagne. Il était assisté de l'espagnol **Lluís Casals Sales**, Prysmian Group Spain, et du français **Pierre Mirebeau**, Jicable, en qualité de secrétaires techniques. Le comité avait réparti les 308 communications en 47 sessions plénières et 4 sessions posters. Sans pouvoir être exhaustif, nous essayons ci-après de tirer les principaux enseignements de ces trois journées denses de communications.

Le domaine des matériaux reste un sujet prégnant. Le comportement des isolants sous fort champ électrique tant en courant alternatif que continu fait l'objet de plusieurs communications. Les questions de formulation des matériaux thermoplastiques, réticulés, mixtes, contenant ou non des charges, ont été souvent abordées. C'est aussi le cas des âmes conductrices notamment le comportement mécanique des conducteurs en aluminium, en particulier pour la pose des câbles sous-marins à grande profondeur. Pour le développement des liaisons à haute tension à courant continu, la question des charges d'espaces influençant la répartition du champ électrique dans l'isolant, bien que de mieux en mieux maîtrisée, reste un sujet de préoccupation pour les chercheurs et les ingénieurs. Les méthodes d'évaluation sont de plus en plus précises (impulsion électro-acoustique, mesure de charge intégrée). Elles permettent à la fois la caractérisation des matériaux traditionnellement utilisés (XLPE) et de matériaux « nouveaux » (polypropylène extrudé, par exemple). Le vieillissement et les lois associées font aussi l'objet d'un fort intérêt : arborescences d'eau en particulier

¹ HTCC : Câbles de distribution d'énergie sous haute tension en courant continu (HTCC)

² MTCC : Câbles de distribution d'énergie sous moyenne tension en courant continu (MTCC)

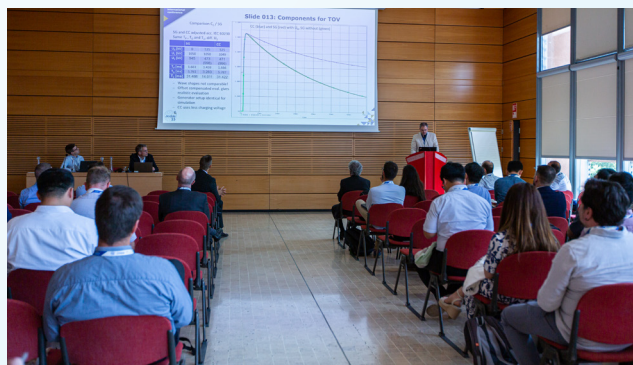


Figure 6 : Sessions plénières se déroulant en parallèle dans différentes salles – Jicable23.

●●● pour les câbles sous-marins, corrosion des conducteurs en aluminium, vieillissement aux interfaces câbles et accessoires. Les industriels et les chercheurs tentent de définir des lois et des modèles représentant au mieux ces phénomènes. Ils s'appuient pour cela sur des essais de caractérisation de plus en plus précis qui leur permettent de disposer de nombreuses données pour la mise au point de modèles.

Les câbles et accessoires pour le transport sous haute tension à courant continu font toujours l'objet de développements importants. Cela s'explique par le besoin croissant de liaisons terrestres de forte puissance. C'est le cas par exemple en Allemagne pour l'alimentation du sud du pays à partir de la production du nord. C'est aussi le cas pour les liaisons sous-marines, en particulier pour les besoins d'évacuation de puissance des plateformes éoliennes marines. Des communications sur le dimensionnement et les essais de câbles et accessoires \pm 525 kV ont été présentées. Plusieurs grands projets ont fait l'objet de communications :

- German Corridor Project SuedOstLink – challenges in technology, planning and logistics ;
- World first DC 400 kV LCC DC-XLPE cable system to retrofit existing HVDC system ;
- Development and application of 400 kV XLPE DC submarine cable for Jiangsu Rudong offshore wind farm in China.

Associé à ce sujet, le comportement mécanique statistique et dynamique des câbles d'évacuation de puissance des plateformes éoliennes off-shore (dimensionnement, fatigue, ...) a fait l'objet de deux sessions. Les recherches se concentrent sur l'optimisation des configurations. Le dimensionnement et les tests pour le développement de systèmes de câbles « dynamiques » HT et THT sont effectués. La modélisation numérique se développe comme outil de conception.

La capacité de transport des systèmes de câbles, l'intensité acceptable dans les

conducteurs, font également l'objet de nombreux travaux. La simulation numérique se développe afin de pouvoir optimiser, en régime permanent comme en régime de surcharge, le dimensionnement des liaisons dans les différentes configurations possibles (trèfle, nappes, pose fourreau, en tunnel, liaisons en parallèle, ...). Le besoin de calcul temps réel est développé. Les méthodes de monitoring, par exemple à l'aide de fibres optiques, sont souvent utilisées pour les liaisons sensibles. Pour les très longues liaisons haute tension à courant alternatif, le besoin de compensation réactive peut être nécessaire, par exemple d'une liaison 110 kV de 70 km de long avec système de compensation en milieu de liaison.

Les méthodes d'essais, de diagnostic, de localisation de défauts sont présentes dans de nombreuses communications (mesures de pertes, mesures de décharges partielles, méthodes non destructives de diagnostics telles qu'ultrasons ou autres). Les méthodes utilisées sont de plus en plus précises et permettent ainsi des diagnostics efficaces. Par ailleurs, des essais sur câbles-modèles associés à une modélisation numérique facilitent le dimensionnement des câbles et accessoires réels.

Bien que n'étant que des solutions de niche (voir le tutoriel sur le sujet), les expérimentations de liaisons supraconductrices (GIL) ont fait l'objet de communications lors de deux sessions qui leur étaient consacrées. Le projet européen SCARLETT visant au

développement de câbles 110 kV – 1000 MW engageant 15 industriels de 7 pays a fait l'objet d'une communication. Le développement de câbles supraconducteurs MTCC pouvant être refroidis par de l'hydrogène liquide, utilisé d'ailleurs par l'industrie, fait l'objet d'études. Enfin, la possibilité d'utiliser une liaison supraconductrice, soit pour renforcer, soit pour se substituer à une liaison existante afin d'augmenter la puissance transmise en zone urbaine dense a été abordée. Les câbles à isolation gazeuse (GIS) ont aussi fait l'objet d'exposés (cf. Prix Lucien Deschamps)

Dans le domaine des câbles basse tension, les sujets principaux abordés ont été le comportement sous irradiation des câbles de centrale nucléaire, en particulier le comportement du câble en cas d'accident de perte de refroidissement primaire et les mesures de caractéristiques associées. Les sujets ont aussi porté sur les câbles pour l'automobile, en particulier le dimensionnement de câbles pour charge rapide des véhicules électriques qui doivent permettre une rapide dissipation de l'échauffement.

La question de l'impact environnemental des activités industrielles liées au cycle de vie des câbles est traitée soit dans des communications spécifiques soit indirectement dans la description de technologies ou de projets. Que ce soient l'optimisation de l'utilisation des matières premières, la recyclabilité des matériaux, l'empreinte carbone des procédés, l'empreinte environnementale des chantiers, la prolongation de la durée de



Figure 7 : Table ronde de fin de conférence Jicable23.

vie des ouvrages et des systèmes de câbles, le monitoring, les essais de diagnostic in-situ, tous ces sujets ont fait l'objet de présentations et d'échanges.

La conférence s'est conclue par une table ronde dont le thème était « le rôle des systèmes de câbles isolés pour la transition énergétique et le développement durable ».

Le prix Lucien Deschamps et les prix Jeunes Chercheurs

Le prix Lucien Deschamps récompense la meilleure communication de la conférence. Le jury a attribué ce prix à **Nils-Bertil Firsk**



Figure 8 : Remise du prix Lucien Deschamps à Nils-Bertil Firsk – Jicable23.



Figure 9 : Remise du 1^{er} prix Jeunes Chercheurs à Shibanni SHAH – Jicable23.

de NEXANS pour la communication suivante :

« HVDC GIS cable connection assembly fully qualified for ± 525 kV following dimensions of the HVAC standard interface ».

Les co-auteurs de cette communication sont : Abdellatif Ait-Amar, Christophe Klein et Dr-Ing Maria Kosse.

Comme à chaque édition, le comité d'organisation Jicable a organisé un concours Jeunes Chercheurs visant à encourager les étudiants et jeunes chercheurs à poursuivre dans l'industrie du câble ou à rejoindre celle-ci. Trois prix sont décernés. Cette année les lauréats ont été les suivants :

- Premier Prix décerné à **Shibanni Shah**, Delft University of Technology, The Netherlands pour la communication : « *The effects of Bending Fatigue on the Breakdown Strength of Polymer -Insulated Conductors* ».
- Deuxième Prix décerné à **Caterina Toigo**, Supergrid Institute, France pour la communication : « *DC time constant evaluation for HVDC GIS cable accessories* ».
- Troisième Prix décerné à **Arita Das**, Indian Institute of Technology Ropar, Indonessia pour la communication « *Construction of Physically Realizable Driving-Point Function from Impedance Spectroscopy of the Cable Using Sweep Frequency Response Analysis* ». ■

Les auteurs

Michel Pays est entré en 1981



à la Direction des Études et Recherches d'EDF comme ingénieur chercheur en charge du développement des câbles à haute tension à courant continu (liaison France-Angleterre, câbles à isolation synthétique) et des câbles de centrales. En 1986, il devient chef du groupe câbles et condensateurs et du groupe fibres optiques à la direction R&D d'EDF, puis en 1991 chef du département câbles isolés et secrétaire du Comité 21 de la CIGRE. En 1998, il dirige le département applications de l'électricité dans les bâtiments toujours chez EDF R&D. En 2002, il prend le poste de délégué RH en appui au management chez EDF R&D. En 2004, il devient chef du service Ressources, Communication et Moyens Internes de la Division Combustible d'EDF, puis Directeur Ressources et Contrôle Interne. En 2009, Michel est directeur de la stratégie du cycle du combustible nucléaire. Depuis 2019, il est coordonnateur scientifique et technique des événements Jicable au sein de l'association.

Les articles

HVDC GIS cable connection assembly fully qualified for ± 525 kV following dimensions of the HVAC standard interface

Nils-Bertil Firsk (Norvège), Abdellatif Ait-Amar (France), Christoph Klein, Maria Kosse (Allemagne).....p.80

The effects of Bending Fatigue on the Breakdown Strength of Polymer-Insulated Conductors

Shibanni Shah, Mohamad Ghaffarian Niasar (Université de Delft).....p.86